

**CLARICE FARIAN DE LEMOS**

**EVOLUÇÃO DA EROSÃO NA BACIA HIDROGRÁFICA DO ALTO  
CURSO DO RIO PITANGUI – PR**

Tese a ser apresentada à Universidade Federal do Paraná, como parte das exigências do Curso de Pós-Graduação em Geologia, Área de Concentração em Geologia Ambiental, Linha de Pesquisa em Análise Multitemporal, Neotectônica e Riscos Geológicos.

Orientador: Prof. Dr. Alberto Pio Fiori

Coorientadores: Prof.<sup>a</sup> Dr.<sup>a</sup> Chisato Oka-Fiori

Dr. Júlio Caetano Tomazoni

**CURITIBA**

**2010**

L557e Lemos, Clarice Farian.  
Evolução da erosão na bacia hidrográfica do alto  
curso do rio Pitanguí – PR / Clarice Farian Lemos, 2010.  
xx, 206 f. : il.

Orientador: Alberto Pio Fiori

Tese (Doutorado)– Universidade Federal do Paraná.  
Setor de Ciências da Terra, Curitiba, 2010.

1. Erosão. 2. Assoreamento. 3. Perda de solo. 4.  
Sistema de Informação Geográfica. I. Universidade  
Federal do Paraná. II. Título.

CDD 631.45

# TERMO DE APROVAÇÃO

## CLARICE FARIAN DE LEMOS

*"EVOLUÇÃO DA EROSÃO NA BACIA HIDROGRÁFICA DO ALTO CURSO DO RIO PITANGUI - PR".*

Tese de doutorado aprovada como requisito parcial para obtenção do grau de Doutor no Curso de Pós-Graduação em Geologia, área de concentração em Geologia Ambiental, da Universidade Federal do Paraná, Comissão formada por:



Prof. Dr. Antônio Conceição Paranhos Filho - UFMS



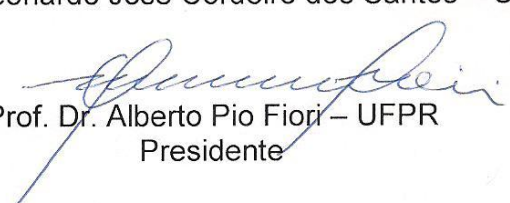
Prof. Dr. Antônio Manoel dos Santos Oliveira - UNG



Prof. Dr. Ney Lyzandro Tabalipa - UTFPR



Prof. Dr. Leonardo José Cordeiro dos Santos – UFPR



Prof. Dr. Alberto Pio Fiori – UFPR  
Presidente

Curitiba, 11 de junho de 2010.

*Ao meu querido marido, Paulo Apelles;  
Aos amados filhos, Vítor Apelles e Larisse;  
Por todo carinho, paciência e compreensão,*

Dedico.



## AGRADECIMENTOS

Uma tese não é realizada de forma solitária, por isso, gostaria de agradecer, primeiramente, ao corpo técnico e docente dos Departamentos de Geologia e Geografia, pertencentes ao Setor de Ciências da Terra, da Universidade Federal do Paraná (UFPR), pela contribuição na realização desta tese.

À Direção da Universidade Tecnológica Federal do Paraná – *Campus* Pato Branco (UTFPR/PB) e à Coordenação do Curso de Engenharia Civil e seus professores, pela autorização e pela possibilidade de afastamento das atividades docentes.

À Coordenação de Aperfeiçoamento de Pessoal de Nível Superior (Capes), pela bolsa de estudo, de setembro de 2008 a fevereiro de 2010, do Programa Institucional de Qualificação Docente para a Rede Federal de Educação Profissional e Tecnológica (PIQDTec).

Aos professores Alberto Pio Fiori, Chisato Oka-Fiori e Júlio Caetano Tomazoni, pela amizade, dedicação, apoio e competente orientação, agradeço com profunda admiração.

Aos professores que participaram da banca examinadora da defesa da tese.

Aos amigos do curso de doutorado, em especial ao Luiz Carlos Godoy, Claudinei Taborda da Silveira e Clotilde Zai, pelo incentivo, apoio e companheirismo.

Aos meus pais, José Moacir de Lemos e Lúcia Farian de Lemos, à minha sogra D. Eny, aos irmãos Cáthia e José Moacir Filho, aos meus avôs Moacir José e Diva, à tia Elzita, aos sobrinhos, cunhados (as), em especial à minha cunhada Maria Isabel e às vizinhas e amigas, Joice e Mari Ane, pelo carinho e compreensão de todos.

Às pessoas que, de alguma forma, auxiliaram na realização deste trabalho, seja por meio da orientação técnica e científica, seja prestando apoio e amizade.

Agradeço a Deus e a querida Santa Catarina, por mais este sonho realizado.

"A gente tem é que sonhar, senão as coisas não acontecem."

Oscar Niemeyer

## SUMÁRIO

<b>LISTA DE SIGLAS E ABREVIATURAS .....</b>	<b>xi</b>
<b>LISTA DE TABELAS .....</b>	<b>xiii</b>
<b>LISTA DE QUADROS.....</b>	<b>xv</b>
<b>LISTA DE FIGURAS .....</b>	<b>xvi</b>
<b>RESUMO.....</b>	<b>xix</b>
<b>ABSTRACT.....</b>	<b>xx</b>
 <b>CAPÍTULO 1</b>	
<b>INTRODUÇÃO .....</b>	<b>1</b>
1.1 OBJETIVOS .....	3
1.1.1 Geral.....	3
1.1.2 Específicos .....	3
1.2 ORGANIZAÇÃO DA TESE .....	4
 <b>CAPÍTULO 2</b>	
<b>ASPECTOS GERAIS DA ÁREA DE ESTUDO.....</b>	<b>5</b>
2.1 LOCALIZAÇÃO.....	5
2.2 CLIMA.....	6
2.3 GEOLOGIA.....	6
2.3.1 Metarenitos e Metarcósios Quartzosos – PSaima .....	8
2.3.2 Grupo Açungui – PSai .....	10
2.3.3 Complexo Granítico Cunhaporanga – PSg2.....	11
2.3.3.1 Domínio petrográfico Jutuba-Pitangui – PSg2cjp.....	12
2.3.3.2 Domínio petrográfico Serra Abaixo-Alagados – PSg2csa.....	12
2.3.3.3 Domínio petrográfico Abapã-Santa Quitéria – PSgcasq .....	13
2.3.3.4 Domínio petrográfico Santa Rita – PSg2csr .....	14

2.3.4 Grupo Paraná – Df.....	15
2.3.5 Grupo São Bento – JKdb .....	16
2.3.6 Depósitos Aluviais e Coluviais – Qha .....	17
2.4 GEOMORFOLOGIA .....	19
2.5 SOLOS .....	21
2.5.1 Afloramentos de Rocha – AR1 .....	23
2.5.2 Cambissolos Háplico – CXbd e Cambissolos Húmico .....	24
2.5.3 Latossolos Bruno – LBd e Latossolos Vermelho – LVd .....	25
2.5.4 Nitossolos Háplico – NXd .....	26
2.5.5 Organossolo Mésico e Gleissolo Melânico – OYs2 .....	27
2.5.6 Neossolo Litólico – RL .....	28
2.6 VEGETAÇÃO .....	30
2.7 HIDROGRAFIA.....	33

## **CAPÍTULO 3**

<b>FUNDAMENTAÇÃO TEÓRICA.....</b>	<b>36</b>
3.1 EQUAÇÃO UNIVERSAL DE PERDA DE SOLOS – EUPS .....	36
3.1.1 Fator Erosividade da Chuva – R.....	39
3.1.2 Fator Erodibilidade do Solo – K.....	40
3.1.3 Fator Topográfico – LS .....	43
3.1.4 Fator de Uso e Ocupação do Solo – C .....	45
3.1.5 Fator de Práticas Conservacionistas – P.....	46
3.2 EROSÃO CONCENTRADA.....	47
3.3 PARÂMETROS MORFOMÉTRICOS DA REDE HIDROGRÁFICA .....	50
3.4 ASSOREAMENTO .....	57
3.4.1 Aporte de Sedimentos – A <sub>S</sub> .....	59
3.4.2 Eficiência de Retenção de Partículas de Solo – E <sub>R</sub> .....	62

3.4.3	Peso Específico Aparente dos Depósitos – $\gamma_d$ .....	64
-------	---	----

3.4.4	Taxa de Denudação – h .....	65
-------	-----------------------------	----

## **CAPÍTULO 4**

<b>MATERIAIS E MÉTODOS .....</b>	<b>66</b>
----------------------------------	-----------

4.1	MATERIAIS .....	66
-----	-----------------	----

4.2	SISTEMA DE INFORMAÇÃO GEOGRÁFICA – SIG.....	67
-----	---	----

4.3	PROCESSAMENTO DIGITAL DE IMAGENS – PDI.....	70
-----	---	----

4.4	CLASSIFICAÇÃO DAS IMAGENS DE SATÉLITES.....	76
-----	---	----

4.5	EROSÃO ENTRE-SULCOS OU LAMINAR .....	76
-----	--------------------------------------	----

4.5.1	Determinação da Erosividade da Chuva – Fator R.....	78
-------	---	----

4.5.2	Determinação da Erodibilidade dos Solos – Fator K .....	81
-------	---	----

4.5.2.1	Trabalhos de campo .....	81
---------	--------------------------	----

4.5.2.2	Ensaio laboratoriais.....	83
---------	---------------------------	----

4.5.3	Determinação do Comprimento de Rampa e Declividade – Fator LS ....	89
-------	--	----

4.5.4	Determinação do Uso e Ocupação do Solo – Fator C.....	93
-------	---	----

4.5.5	Determinação das Práticas Conservacionistas – Fator P .....	93
-------	---	----

4.6	EROSÕES EM SULCOS OU CONCENTRADAS.....	93
-----	--	----

4.7	REDE DE DRENAGEM .....	97
-----	------------------------	----

4.8	ASSOREAMENTO DA REPRESA .....	98
-----	-------------------------------	----

## **CAPÍTULO 5**

<b>RESULTADOS E DISCUSSÕES.....</b>	<b>99</b>
-------------------------------------	-----------

5.1	ANÁLISE MULTITEMPORAL DO USO E OCUPAÇÃO DO SOLO.....	99
-----	--	----

5.2	DETERMINAÇÃO DA EROSÃO ENTRE-SULCOS OU LAMINAR NA BHAP103	
-----	---	--

5.2.1	Fator R.....	103
-------	--------------	-----

5.2.2	Fator K.....	114
-------	--------------	-----

5.2.3	Fator LS.....	123
-------	---------------	-----

5.2.4 Fator C.....	125
5.2.5 Fator P .....	128
5.2.6 Perdas de Solo - PS .....	131
5.3 DETERMINAÇÃO DAS EROSÕES CONCENTRADAS NA BHAP .....	137
5.4 PROPRIEDADES DA REDE DE DRENAGEM DA BHAP .....	141
5.5 DETERMINAÇÃO DO ASSOREAMENTO NA REPRESA DE ALAGADOS.....	154
 <b>CAPÍTULO 6</b>	
<b>CONCLUSÕES .....</b>	<b>162</b>
<b>REFERÊNCIAS.....</b>	<b>167</b>
<b>APÊNDICE 1 – ESTAÇÕES PLUVIOMÉTRICAS .....</b>	<b>179</b>
<b>APÊNDICE 2 – PROGRAMAS EM LINGUAGEM LEGAL .....</b>	<b>182</b>
<b>APÊNDICE 3 – ÁREAS E VOLUMES DAS VOÇOROCAS .....</b>	<b>188</b>
<b>ANEXO 1 – RESULTADOS DOS ENSAIOS LABORATORIAIS .....</b>	<b>191</b>

## LISTA DE SIGLAS E ABREVIATURAS

ASCII	<i>American Standard Code for Information Interchange</i>
ANA	Agência Nacional de Águas
BHAP	Bacia Hidrográfica do Alto Curso do Rio Pitangui
CBERS	<i>China-Brazil Earth Resources Satellite</i> (Satélite Sino-brasileiro de Recursos Terrestres)
CCD	<i>Couple Charged Device</i> (Câmara de Alta Resolução)
COPEL	Companhia Paranaense de Energia
CVG	Classificação da Vegetação Brasileira
DTM	<i>Digital Terrain Model</i>
DXF	<i>Drawing Exchange Format</i>
EMBRAPA	Empresa Brasileira de Pesquisa Agropecuária
ETM <sup>+</sup>	<i>Enhanced Thematic Mapper Plus</i>
EUPS	Equação Universal de Perdas de Solos
FAO	<i>Food and Agriculture Organization</i>
GIS	<i>Geographic Information System</i>
GPS	<i>Global Positioning System</i>
IAPAR	Instituto Agrônomo do Paraná
IBGE	Instituto Brasileiro de Geografia e Estatística
IMG	Imagem
INPE	Instituto Nacional de Pesquisas Espaciais
IPARDES	Instituto Paranaense de Desenvolvimento Econômico e Social
ITCG	Instituto de Terras, Cartografia e Geociências
JICA	<i>Japan International Cooperation Agency</i>
LANDSAT	<i>Land Remote Sensing Satellite</i> (Satélite de Recursos Terrestres)
LEGAL	Linguagem Espacial para Geoprocessamento Algébrico
MINEROPAR	Minerais do Paraná S.A.
MNT	Modelagem Numérica do Terreno
PDI	Processamento Digital de Imagens
SAD 69	<i>Datum Horizontal South American 1969</i>
SANEPAR	Companhia de Saneamento do Paraná
SBCS	Sistema Brasileiro de Classificação do Solo
SDR	<i>Sediment Delivery Ratio</i>
SEMA/PR	Secretaria do Meio Ambiente e Recursos Hídricos do Paraná
SHP	<i>Shapefile</i>

SIG	Sistema de Informação Geográfica
SPRING	Sistema de Processamento de Informações Georreferenciadas
SUDERHSA	Superintendência de Desenvolvimento de Recursos Hídricos e Saneamento Ambiental
TE	Temático
TFSE	Terra Fina Seca em Estufa
TIF	<i>Tagged Image File Format</i>
TIN	<i>Triangulated Irregular Network</i>
TM	<i>Thematic Mapper</i>
UEPG	Universidade Estadual de Ponta Grossa
UFPR	Universidade Federal do Paraná
USDA	<i>United States Department of Agriculture</i>
USLE	<i>Universal Soil Loss Equation</i>
UTFPR	Universidade Tecnológica Federal do Paraná
UTM	<i>Universal Transversa de Mercator</i>



## LISTA DE TABELAS

TABELA 1 – CLASSE, DESCRIÇÃO E ÁREAS OCUPADAS PELOS DIFERENTES TIPOS DE SOLOS QUE OCORREM NA BHAP .....	23
TABELA 2 – NÍVEL DA EROÇÃO EM RAZÃO DOS LIMITES DE PERDAS ANUAIS DE SOLO .....	39
TABELA 3 – CLASSIFICAÇÃO DA EROSIVIDADE MÉDIA ANUAL (R) .....	40
TABELA 4 – CLASSIFICAÇÃO DA ERODIBILIDADE (K) .....	43
TABELA 5 – CLASSIFICAÇÃO DO FATOR LS.....	44
TABELA 6 – FATOR “C” PARA ALGUNS TIPOS DE COBERTURA DO SOLO .....	45
TABELA 7 – FATOR “P” PARA ALGUMAS PRÁTICAS CONSERVACIONISTAS .....	47
TABELA 8 – PERÍODOS AVALIADOS E ESTAÇÕES PLUVIOMÉTRICAS PESQUISADAS .....	79
TABELA 9 – PONTOS AMOSTRADOS PARA A DETERMINAÇÃO DA ERODIBILIDADE DOS SOLOS DA BHAP .....	86
TABELA 10 – PERFIS ADOTADOS NO CÁLCULO DA ERODIBILIDADE DOS SOLOS DA BHAP .....	87
TABELA 11 – CLASSES DE RELEVO CONFORME A DECLIVIDADE.....	89
TABELA 12 – DADOS DA CLASSIFICAÇÃO DAS IMAGENS DE SATÉLITES DA BHAP .....	99
TABELA 13 – DADOS DA MÉDIA ANUAL DE PRECIPITAÇÃO NOS PERÍODOS AVALIADOS.....	104
TABELA 14 – VALORES DA EROSIVIDADE DA CHUVA DOS PERÍODOS ANALISADOS PARA AS ESTAÇÕES PLUVIOMÉTRICAS PESQUISADAS .....	109
TABELA 15 – VALORES MÍNIMOS, MÁXIMOS E MÉDIOS DA EROSIVIDADE DA CHUVA NOS PERÍODOS ANALISADOS PARA BHAP .....	111
TABELA 16 – RESULTADOS DOS ENSAIOS FÍSICOS.....	114
TABELA 17 – DADOS PARA O CÁLCULO DA ERODIBILIDADE DOS PONTOS AVALIADOS .....	119
TABELA 18 – VALORES DA ERODIBILIDADE DOS SOLOS .....	121
TABELA 19 – DADOS REFERENTES AO FATIAMENTO DO FATOR C PARA A BHAP .....	125
TABELA 20 – DADOS REFERENTES AO FATIAMENTO DO FATOR P PARA A BHAP .....	128
TABELA 21 – VALORES MÉDIOS DA PERDA DE SOLOS E AS RESPECTIVAS PORCENTAGENS EM RELAÇÃO À PERDA MÉDIA TOTAL OBTIDA NO PERÍODO DE 1984 A 2007 PARA A BHAP .....	131
TABELA 22 – TOTAL DAS PRODUÇÕES AGRÍCOLA, PECUÁRIA E EXTRATIVA VEGETAL NOS MUNICÍPIOS DE CASTRO, CARAMBEÍ E PONTA GROSSA.....	135
TABELA 23 – DADOS REFERENTES ÀS VOÇOROCAS EXISTENTES NA BHAP NO PERÍODO DE 1952 A 2001 .....	138
TABELA 24 – DADOS REFERENTES ÀS RAVINAS EXISTENTES NA BHAP NO PERÍODO DE 1952 A 2001 .....	138

TABELA 25 – VALORES DAS ÁREAS TOTAIS E DOS VOLUMES DE MATERIAL EXTRAÍDO NAS ATIVIDADES MINERÁRIAS OCORRIDAS NA BHAP NO PERÍODO DE 1952 A 2001 .....	141
TABELA 26 – VARIAÇÕES VERIFICADAS NO PERÍODO DE 1952 A 2001 NA REDE DE DRENAGEM DA BHAP .....	148
TABELA 27 – CARACTERÍSTICAS GERAIS DA BHAP .....	149
TABELA 28 – VARIAÇÕES VERIFICADAS NO PERÍODO DE 1952 A 2001 NAS CARACTERÍSTICAS DE DRENAGEM DA BHAP .....	151
TABELA 29 – VALORES DOS APORTES DE SEDIMENTOS NO EXUTÓRIO DA BHAP PROVENIENTES DA EROSÃO LAMINAR E EROSÃO CONCENTRADA.....	160
TABELA 32 – INFORMAÇÕES DAS ESTAÇÕES PLUVIOMÉTRICAS UTILIZADAS.....	180
TABELA 33 – DADOS DAS VOÇOROCAS IDENTIFICADAS NA BHAP PARA O ANO DE 1952.....	189
TABELA 34 – DADOS DAS VOÇOROCAS IDENTIFICADAS NA BHAP PARA O ANO DE 1980.....	189
TABELA 35 – DADOS DAS VOÇOROCAS IDENTIFICADAS NA BHAP PARA O ANO DE 2001.....	190

## LISTA DE QUADROS

QUADRO 1 – EQUAÇÕES DE SDR USADAS NA PESQUISA, COM OS RESPECTIVOS AUTORES E VARIÁVEIS TRABALHADAS .....	60
QUADRO 2 – ESTRUTURA DO BANCO CRIADO NO AMBIENTE SPRING PARA A BHAP .....	67
QUADRO 3 – PROPRIEDADES DA DRENAGEM DA BHAP .....	143
QUADRO 4 – VALORES OBTIDOS PARA O COEFICIENTE SDR.....	159

## LISTA DE FIGURAS

FIGURA 1 – LOCALIZAÇÃO DA BACIA DO ALTO CURSO DO RIO PITANGUI.....	5
FIGURA 2 – MAPA GEOLÓGICO DA BHAP .....	7
FIGURA 3 – METARENITOS E METARCÓSIOS QUARTZOSOS ENCONTRADOS NA BHAP .....	9
FIGURA 4 – CONJUNTO ROCHOSO FORMADO POR FILITOS EXISTENTES NA BHAP .....	11
FIGURA 5 – AFLORAMENTO DO COMPLEXO GRANÍTICO CUNHAPORANGA NA BHAP .....	13
FIGURA 6 – ASPECTO TÍPICO DO ARENITO DA FORMAÇÃO FURNAS .....	15
FIGURA 7 – ESCARPA DEVONIANA DA FORMAÇÃO FURNAS .....	16
FIGURA 8 – AMOSTRA DOS DIQUES DE DIABÁSIO LOCALIZADOS NA BHAP .....	17
FIGURA 9 – ASPECTO DO DEPÓSITO COLUVIAL EXISTENTE NA BHAP .....	18
FIGURA 10 – DEPÓSITO ALUVIAL ISOLADO QUE OCORRE NA BHAP .....	18
FIGURA 11 – MAPA GEOMORFOLÓGICO DA BHAP .....	20
FIGURA 12 – MAPA DOS SOLOS EXISTENTES NA BHAP .....	22
FIGURA 13 – ASPECTO DA FLORESTA OMBRÓFILA MISTA EXISTENTE NA BHAP .....	30
FIGURA 14 – MAPA DA VEGETAÇÃO NATIVA DA BHAP .....	32
FIGURA 15 – MAPA COM OS PRINCIPAIS RIOS DA BHAP .....	34
FIGURA 16 – ETAPAS DO PROCESSO DE EROÇÃO CAUSADA PELO IMPACTO DA GOTA .....	48
FIGURA 17 – CURVAS DE CHURCHILL PARA DETERMINAÇÃO DO ÍNDICE DE SEDIMENTAÇÃO.....	62
FIGURA 18 – CURVAS DE BRUNE PARA DETERMINAÇÃO DA EFICIÊNCIA DE RETENÇÃO DE SEDIMENTOS EM RESERVATÓRIOS .....	64
FIGURA 19 – MOSAICO DAS FOTOS AÉREAS DE 1952 E 1980 DA BHAP .....	71
FIGURA 20 – MOSAICO DAS FOTOS AÉREAS E ORTOFOTOS DE 2001 DA BHAP .....	72
FIGURA 21 – IMAGENS DE SATÉLITE DE 1984 E 1995 DA BHAP .....	74
FIGURA 22 – IMAGENS DE SATÉLITE DE 2002 E 2007 DA BHAP .....	75
FIGURA 23 – FLUXOGRAMA DO CÁLCULO DAS PERDAS DE SOLO POR EROÇÃO LAMINAR .....	77
FIGURA 24 – MAPA DA LOCALIZAÇÃO DAS ESTAÇÕES PLUVIOMÉTRICAS PESQUISADAS .....	78
FIGURA 25 – MAPA DA LOCALIZAÇÃO DOS PONTOS DE RETIRADA DAS AMOSTRAS DE SOLOS DA BHAP .....	82
FIGURA 26 – AMOSTRAS DE SOLO COLETADAS PARA OS ENSAIOS FÍSICOS .....	83
FIGURA 27 – AMOSTRAS DE SOLO COLETADAS EM ANÉIS .....	84
FIGURA 28 – TRIÂNGULO COM AS CLASSES TEXTURAIS E VALORES ADOTADOS PARA A VARIÁVEL REFERENTE À PERMEABILIDADE DO SOLO .....	88

FIGURA 29 – MAPA DE DECLIVIDADE DA BHAP.....	90
FIGURA 30 – MAPA DA GRADE COM OS COMPRIMENTOS DE RAMPA DA BHAP .....	92
FIGURA 31 – DETALHE MOSTRANDO O TRAÇADO DAS VOÇOROCAS E RAVINAS NA FOTO AÉREA DA BHAP PARA O ANO DE 2001.....	94
FIGURA 32 – EXEMPLOS DE VOÇOROCAS ENCONTRADAS NA ÁREA DA BHAP .....	95
FIGURA 33 – EXEMPLOS DE RAVINAS ENCONTRADAS NA ÁREA DA BHAP .....	96
FIGURA 34 – MAPA DE USO E OCUPAÇÃO DO SOLO EM 1984 E 1995 NA BHAP .....	100
FIGURA 35 – MAPA DE USO E OCUPAÇÃO DO SOLO EM 2002 E 2007 NA BHAP .....	101
FIGURA 36 – GRÁFICOS COM AS PORCENTAGENS DAS ÁREAS DE USO E OCUPAÇÃO DO SOLO NA BHAP .....	102
FIGURA 37 – GRÁFICO DAS PRECIPITAÇÕES NOS PERÍODOS ANALISADOS .....	105
FIGURA 38 – MAPA DAS ISOIETAS PARA OS PERÍODOS DE 1984 E 1995 NA BHAP.....	107
FIGURA 39 – MAPA DAS ISOIETAS PARA OS PERÍODOS DE 2002 E 2007 NA BHAP.....	108
FIGURA 40 – GRÁFICO DAS EROSIVIDADES POR PERÍODOS ANALISADOS.....	110
FIGURA 41 – MAPA DA EROSIVIDADE DA CHUVA EM 1984 E 1995 PARA BHAP .....	112
FIGURA 42 – MAPA DA EROSIVIDADE DA CHUVA EM 2002 E 2007 PARA BHAP .....	113
FIGURA 43 – GRÁFICO DA VARIAÇÃO DOS PESOS ESPECÍFICOS.....	115
FIGURA 44 – GRÁFICO DO ÍNDICE DE VAZIOS .....	116
FIGURA 45 – GRÁFICO DA POROSIDADE .....	116
FIGURA 46 – GRÁFICO DA UMIDADE NATURAL.....	117
FIGURA 47 – GRÁFICO DO GRAU DE SATURAÇÃO.....	117
FIGURA 48 – GRÁFICO DA COMPOSIÇÃO GRANULOMÉTRICA .....	118
FIGURA 49 – MAPA DE ERODIBILIDADE DOS SOLOS EXISTENTES NA BHAP.....	122
FIGURA 50 – MAPA DO FATOR LS OBTIDO PARA BHAP .....	124
FIGURA 51 – MAPAS DO FATOR C DE 1984 E 1995 PARA BHAP.....	126
FIGURA 52 – MAPAS DO FATOR C DE 2002 E 2007 PARA BHA.....	127
FIGURA 53 – MAPAS DO FATOR P DE 1984 E 1995 PARA BHAP .....	129
FIGURA 54 – MAPAS DO FATOR P DE 2002 E 2007 PARA BHAP .....	130
FIGURA 55 – MAPA DA PERDA DE SOLOS EM 1984 E 1995 PARA BHAP.....	132
FIGURA 56 – MAPA DA PERDA DE SOLOS EM 2002 E 2007 PARA BHAP .....	133
FIGURA 57 – GRÁFICO COM AS PORCENTAGENS DAS ÁREAS CONFORME A CLASSIFICAÇÃO DAS PERDAS DE SOLOS NA BHAP.....	134
FIGURA 58 – GRÁFICO COM A PRODUÇÃO AGRÍCOLA NA REGIÃO DE CASTRO, CARAMBEÍ E PONTA GROSSA .....	136
FIGURA 59 – LOCAIS DE EXTRAÇÃO MINERÁRIA VISITADOS .....	139

FIGURA 60 – EVOLUÇÃO DOS LOCAIS COM EXTRAÇÃO MINERÁRIA EXISTENTES NA BHAP.....	140
FIGURA 61 – MAPA COM OS PADRÕES DE DRENAGEM DA BHAP .....	142
FIGURA 62 – REDE DE DRENAGEM DA BHAP EM 1952 .....	145
FIGURA 63 – REDE DE DRENAGEM DA BHAP EM 2001 .....	146
FIGURA 64 – DETALHES DA REDE DE DRENAGEM DE 1952 E AÇÃO ANTRÓPICA OCORRIDA EM 2001 NA BHAP.....	147
FIGURA 65 – VALORES OBTIDOS PARA O FATOR DE SIMETRIA TOPOGRÁFICA TRANSVERSAL (FT) NA BHAP .....	152
FIGURA 66 – ÁREA DA REPRESA DE ALAGADOS.....	154
FIGURA 67 – MOSAICO DAS ORTOFOTOS DE 2001 DA REPRESA DE ALAGADOS.....	155
FIGURA 68 – DETALHE DO ASSOREAMENTO NA FOZ DO RIO PITANGUI.....	155
FIGURA 69 – IMAGEM DE SATÉLITE LANDSAT_5 DE 1984 DA REPRESA DE ALAGADOS.....	156
FIGURA 70 – IMAGEM DE SATÉLITE LANDSAT_5 DE 1995 DA REPRESA DE ALAGADOS.....	156
FIGURA 71 – IMAGEM DE SATÉLITE LANDSAT_7 DE 2002 DA REPRESA DE ALAGADOS.....	157
FIGURA 72 – IMAGEM DE SATÉLITE CBERS_2 DE 2007 DA REPRESA DE ALAGADOS .....	157
FIGURA 73 – IMAGEM DE SATÉLITE CBERS_2B DE 2009 DA REPRESA DE ALAGADOS.....	158
FIGURA 74 – RELAÇÃO DE APORTE DE SEDIMENTO (SDR) PARA BHAP, USANDO AS SETE EQUAÇÕES.....	159

LEMOS, C. F. **Evolução da erosão na bacia hidrográfica do alto curso do rio Pitangui – PR.** 2010. 206f. Tese (Doutorado em Geologia Ambiental) – Universidade Federal do Paraná – UFPR. Curitiba, 2010.

## RESUMO

O objetivo desta pesquisa é verificar a influência da variação do uso e ocupação do solo relacionada com as perdas anuais de solo por erosão entre-sulcos (laminar); o volume de sedimentos produzidos pelas erosões concentradas, na área da Bacia Hidrográfica do Alto curso do rio Pitangui – BHAP; e o assoreamento da represa de Alagados, no período de 1961 a 2007; e, ainda, as alterações da rede de drenagem ocorridas no período de 1952 a 2001. Essa bacia possui 163,537 km<sup>2</sup>, está localizada entre as coordenadas geográficas 24°52' a 25°05' de latitude Sul e 49°46' a 50°00' de longitude Oeste, entre o Primeiro e Segundo Planalto Paranaense, e abrange os municípios de Castro, Carambeí e Ponta Grossa, no Paraná. O clima da região é subtropical úmido mesotérmico (Cfb) e os tipos de solos encontrados pertencem aos grandes grupos dos Cambissolos, Latossolos, Nitossolos, Organossolos, Gleissolos e Neossolos com Afloramentos Rochosos. Utilizou-se dados de precipitação; imagens de satélites; fotos aéreas; planta planialtimétrica; softwares de geoprocessamento; e trabalhos de campo. O método trabalhado foi qualitativo e quantitativo, por meio da análise multitemporal das imagens de satélites; emprego da Equação Universal de Perdas de Solos (EUPS), desenvolvida em ambiente SPRING 5.0; fotointerpretação; aplicação de equações empíricas; e cálculo dos parâmetros morfométricos da bacia. Os resultados obtidos foram que as porcentagens das áreas classificadas como reflorestamentos, campos e pastagens, áreas cultivadas e vegetação primária se apresentaram na forma de ciclo inverso, sendo que, para os solos expostos, o ciclo foi direto ao das perdas de solos; a média de perda de solos provenientes da erosão entre-sulcos (laminar) foi estimada em 46,04 t.ha<sup>-1</sup>.ano<sup>-1</sup>; o volume total de sedimentos produzidos pelas voçorocas e ravinas foi estimado em 79.213,32 m<sup>3</sup> ou 1.616,60 m<sup>3</sup>.ano<sup>-1</sup>; o valor médio estimado para o volume de sedimento depositado anualmente na represa foi de 107.091,82 m<sup>3</sup>.ano<sup>-1</sup>, ou seja, a bacia estudada contribui com o assoreamento de 0,39% por ano do volume total da represa; a alteração na composição da rede de drenagem foi verificada até os canais 3.<sup>a</sup> ordem, sendo que para as demais ordens os valores mantiveram-se os mesmos. Portanto, por meio do estudo realizado, fica evidente que a variação da perda de solo por erosão entre-sulcos (laminar), a evolução da erosão concentrada, o volume de sedimentos depositados na represa de Alagados e as alterações na composição da rede de drenagem sofreram interferência, principalmente, da forma de uso e ocupação dos ambientes naturais existentes na BHAP.

Palavras-chave: EUPS, perdas de solos, assoreamento, rede de drenagem, SIG – Sistema de Informação Geográfica.

## ABSTRACT

The objective of this research is to verify the influence of variation of the use and soil occupation related with the soil annual losses by the interrill erosion, the volume of sediment produced by erosion concentrated, in the area of hydrographic basin of the high flow of Pitangui river, the sediments deposited at the Alagados dam, in the period 1961 to 2007, and, also, in alterations of the drainage system occurred during the period 1952 to 2001. This basin has 163.537 km<sup>2</sup>, it is located between the geographic coordinates 24°52' to 25°05' of South latitude and 49°46' to 50°00' of West longitude between the first and the Second Paranaense Plateau and includes the cities of Castro, Carambeí and Ponta Grossa, in Paraná. The type of climate is mesothermic humid subtropical and the kinds of soils found belong to big groups of Cambisols, Ferralsols, Nitisols, Histosols, Gleysols and Leptosols with Rocky Outcrop. It was used the precipitation data, satellite images, aerial photos, planialtimetric plant, software of geoprocessing and field works. The working method was qualitatively and quantitatively, through multitemporal analysis of satellite images, use of Universal Soil Loss Equation (USLE), developed in an environment Spring 5.0, photo interpretation, application of empirical equations, and calculation of morphometric parameters of the basin. The results were that the percentage of areas classified as reforestation, fields and pastures, cultivated areas and primary vegetation occurred in the form of inverse cycle, and for the soils exposed, the cycle went straight to the loss of soil; the average of soil loss from interrill erosion was estimated at 46.04 t.ha<sup>-1</sup>.year<sup>-1</sup>, the total volume of sediment produced by gullies and ravines was estimated at 79.213.32 m<sup>3</sup> or 1.616.60 m<sup>3</sup>.year<sup>-1</sup>, the mean estimate for the volume of sediment deposited annually in the dam was 107,091.82 m<sup>3</sup>.year<sup>-1</sup>, in other words, the watershed evaluated contributes to the silting up of 0,39% per annum of the total volume dam, and the alteration in the drainage system was verified up to the channels of 3<sup>rd</sup> order, being that the other orders the values continued the same. Therefore, through this study, it is evident that the variation of soil loss by interrill erosion, the evolution of concentrated erosion, the volume of sediment deposited in the Alagados dam and changes in the composition of the drainage system suffered interference, especially in the manner of use and occupancy of existing natural environments BHAP.

Keywords: USLE, soil losses, silting, drainage system, GIS – Geographic Information System.



## INTRODUÇÃO

O Paraná é um estado que, pelas características hidrográficas e geológicas existentes, favorece a construção de usinas hidrelétricas. Existem, aproximadamente, 17 usinas em funcionamento, pertencentes à Companhia Paranaense de Energia – COPEL, que geram 4.549,6 MW, correspondendo, aproximadamente, a 7% de toda eletricidade consumida no Brasil. Desde 1910, esses empreendimentos vêm sendo realizados no Estado, sendo que, em 1945, foi inaugurada a Usina de São Jorge, que possui a capacidade instalada de 2,3 MW e está localizada na margem esquerda do rio Pitangui, a 18 km do centro da cidade de Ponta Grossa (COPEL, 2006).

Junto a essa usina e na mesma época foi construída uma barragem, que deu origem a um reservatório denominado de represa de Alagados, cuja finalidade é controlar as vazões dos rios Pitangui e Jotuba, para aumentar a capacidade de geração de energia elétrica. Atualmente é, também, responsável pelo abastecimento de cerca de 30% de água na cidade de Ponta Grossa, sendo que os outros 70% são captados do rio Pitangui, a jusante dessa represa (SANEPAR, 2009).

A formação da represa de Alagados provocou modificação no aspecto paisagístico da região, tornando-a de uma beleza admirável e, por isso, houve um aumento no interesse para a ocupação dessa área, infelizmente, de forma desorganizada. A retirada da cobertura vegetal em área de preservação permanente, desmatamentos desordenado da vegetação nativa, queimadas, práticas inadequadas do cultivo das terras e das atividades de pecuária (principalmente a suinocultura), exploração de pedreiras (saibro e cascalho), execução de estradas e desenvolvimento urbano são atividades antrópicas muito atuantes na região e no desencadeamento de problemas ambientais.

Portanto, várias são as consequências da maneira desorganizada dessa ocupação e uso dos solos pelo homem, entre as quais podem ser destacadas: a perda de solos férteis e a diminuição da produtividade agrícola, provocados pela aceleração dos processos erosivos; a redução do volume e poluição de água superficial pelo assoreamento dos corpos de água e do reservatório, proliferação das

cianobactérias, ou algas azuis na represa, entalhamento severo do relevo e mudanças morfométricas irreversíveis ocorridas na rede de drenagem.

Hoje em dia, há um conflito entre a expansão do uso do solo, potencializado pelas práticas que geram impactos ambientais, e o conhecimento da necessidade em reservar uma área de preservação para a manutenção da bacia hidrográfica. Por isso, é importante realizar um plano de ação que contemple essa contradição e que minimize a degradação dos recursos naturais, especialmente o solo e a água (CHUEH, 2004).

Com a preocupação de que possam ocorrer problemas ou acidente na represa, ou nas áreas das bacias hidrográficas do alto curso do rio Pitangui e do rio Jotuba, que poderão comprometer o abastecimento de água em Ponta Grossa e a produção de energia da Usina Hidrelétrica de São Jorge; o Ministério Público, pela Promotoria de Proteção ao Meio Ambiente, promoveu um levantamento ambiental abrangendo todo esse manancial. Resultando num relatório com os dados levantados e sugestões de aprofundamento de estudos específicos e ações a serem desenvolvidas (UEPG, 2002).

A escolha da área da BHAP e da represa de Alagados, para a realização desta pesquisa, foi por existir esse relatório com o diagnóstico ambiental dessa bacia hidrográfica, que serviu de apoio para este estudo; por ser o rio Pitangui o principal manancial público de abastecimento da cidade de Ponta Grossa; e, também, por saber do interesse e preocupação de órgãos públicos em desenvolver ações visando à preservação dessa região.

Logo, a finalidade desta pesquisa é fornecer informações importantes com relação aos processos erosivos e mudanças morfométricas da rede de drenagem na Bacia Hidrográfica do Alto curso do rio Pitangui – BHAP e a contribuição dessa bacia hidrográfica no assoreamento da represa de Alagados.

As informações apresentadas são: a influência antrópica sobre a BHAP, por meio de mapas multitemporais; as perdas anuais de solo por erosão entre-sulcos e a estimativa do volume de sedimentos depositados no reservatório de Alagados, oriundo dessa bacia, durante os períodos de 1961 a 1984, de 1985 a 1995, de 1996 a 2002 e de 2003 a 2007; e, também, as taxas da variação da área e do volume da perda de sedimentos devido aos principais sulcos de erosão concentrada e alterações significativas na rede de drenagem, no período entre 1952 a 2001.

Este trabalho tem, ainda, o propósito de servir de apoio para o processo de recuperação do solo e melhoria da qualidade da água na BHAP e, também, de justificativa para a existência de projetos públicos de conscientização das pessoas que vivem nesta área. Além disso, poderá ser um referencial para estudos em outras unidades hidrográficas, por detectar os vários problemas que acarretam o uso e manejo inadequado do solo e a degradação do meio ambiente.

## 1.1 OBJETIVOS

### 1.1.1 Geral

Neste estudo pretende-se verificar a influência da variação do uso e ocupação do solo relacionada com as perdas anuais de solo por erosão entre-sulcos (laminar); o volume de sedimentos produzidos pelas erosões concentradas, na área da Bacia Hidrográfica do Alto curso do rio Pitangui – BHAP; e o assoreamento da represa de Alagados, no período de 1961 a 2007; e, ainda, as alterações da rede de drenagem ocorridas no período de 1952 a 2001.

### 1.1.2 Específicos

- Identificar e mapear tipos litológicos, formas de relevo, solos, vegetação e rede hidrográfica existente na área de estudo.
- Levantar dados referentes a índices pluviométricos, desde 1961.
- Calcular os valores da erosividade da chuva (R) para os períodos de 1961 a 1984, de 1985 a 1995, de 1996 a 2002 e de 2003 a 2007.
- Obter os valores da erodibilidade (K) para os tipos de solos mapeados.
- Verificar a variação das atividades antrópicas (uso e ocupação do solo), por meio das imagens de Satélites LANDSAT-5 dos anos de 1984 e 1995, LANDSAT-7 de 2002 e CBERS-2 de 2007.
- Quantificar as perdas anuais de solo por erosão entre-sulcos, por meio do emprego da Equação Universal de Perda de Solos – EUPS.
- Levantar as feições erosivas concentradas (ravinas e voçorocas), pelos trabalhos de campo e observações de fotos aéreas de 1952, 1980 e 2001.

- Estimar a evolução das áreas e volumes nos sulcos mais importantes da erosão concentrada.
- Conferir as alterações na composição da rede de drenagem, com base na caracterização morfométrica e análise multitemporal de fotografias aéreas.
- Avaliar o aporte de sedimentos no exutório da BHAP, em  $t.ano^{-1}$ .
- Estimar o volume de sedimentos retidos na represa de Alagados, em  $m^3.ano^{-1}$  oriundo da BHAP, no período de 1961 a 2007.

## 1.2 ORGANIZAÇÃO DA TESE

Esta tese está dividida em 6 (seis) capítulos, sendo que, no CAPÍTULO 1 – INTRODUÇÃO, com os objetivos da pesquisa, está incluído, também, este escopo do trabalho.

No CAPÍTULO 2 – ASPECTOS GERAIS DA ÁREA DE ESTUDO está apresentado o aspecto geral da Bacia Hidrográfica do Alto curso do rio Pitangui – BHAP, com sua localização e descrições das características existentes nessa área, como o clima, a geologia, a geomorfologia, os tipos de solos existentes, a vegetação e a hidrografia.

Já, no CAPÍTULO 3 – FUNDAMENTAÇÃO TEÓRICA é realizada a fundamentação teórica bastante sucinta dos temas trabalhados, sendo esses: Equação Universal de Perdas de Solos – EUPS, Erosão Concentrada, Parâmetros da Rede Hidrográfica e Assoreamento.

No CAPÍTULO 4 – MATERIAIS E MÉTODOS estão listados os materiais como as imagens de satélites, fotos aéreas e *softwares* utilizados e os métodos empregados para realizar a análise multitemporal do uso e ocupação do solo, a quantificação da perda de solos devido à erosão entre-sulcos e concentradas, a estimativa do volume de sedimentos retidos na represa de alagados oriundos da BHAP e cálculo dos parâmetros morfométricos da rede de drenagem

Posteriormente, no CAPÍTULO 5 – RESULTADOS E DISCUSSÕES estão apresentados e discutidos os resultados obtidos com os métodos descritos no Capítulo 4.

E, finalmente, no CAPÍTULO 6 – CONCLUSÕES são elencadas as conclusões obtidas dos trabalhos realizados nesta tese.

### ASPECTOS GERAIS DA ÁREA DE ESTUDO

#### 2.1 LOCALIZAÇÃO

A bacia hidrográfica em estudo é a do alto curso do rio Pitangui, desde sua nascente até a represa de Alagados (área inundada pelo represamento das águas dos rios Pitangui e Jotuba). O rio Pitangui é afluente da margem direita do rio Tibagi, que é o maior afluente do rio Paranapanema, sendo que os mesmos pertencem a bacia hidrográfica do rio Paraná. A bacia estudada possui, aproximadamente, uma área total de 163,537 km<sup>2</sup>, sendo que 149,413 km<sup>2</sup> pertencem ao município de Castro; 8,382 km<sup>2</sup> ao de Carambeí e 5,742 km<sup>2</sup> para Ponta Grossa, localizados no estado do Paraná (Figura 1).

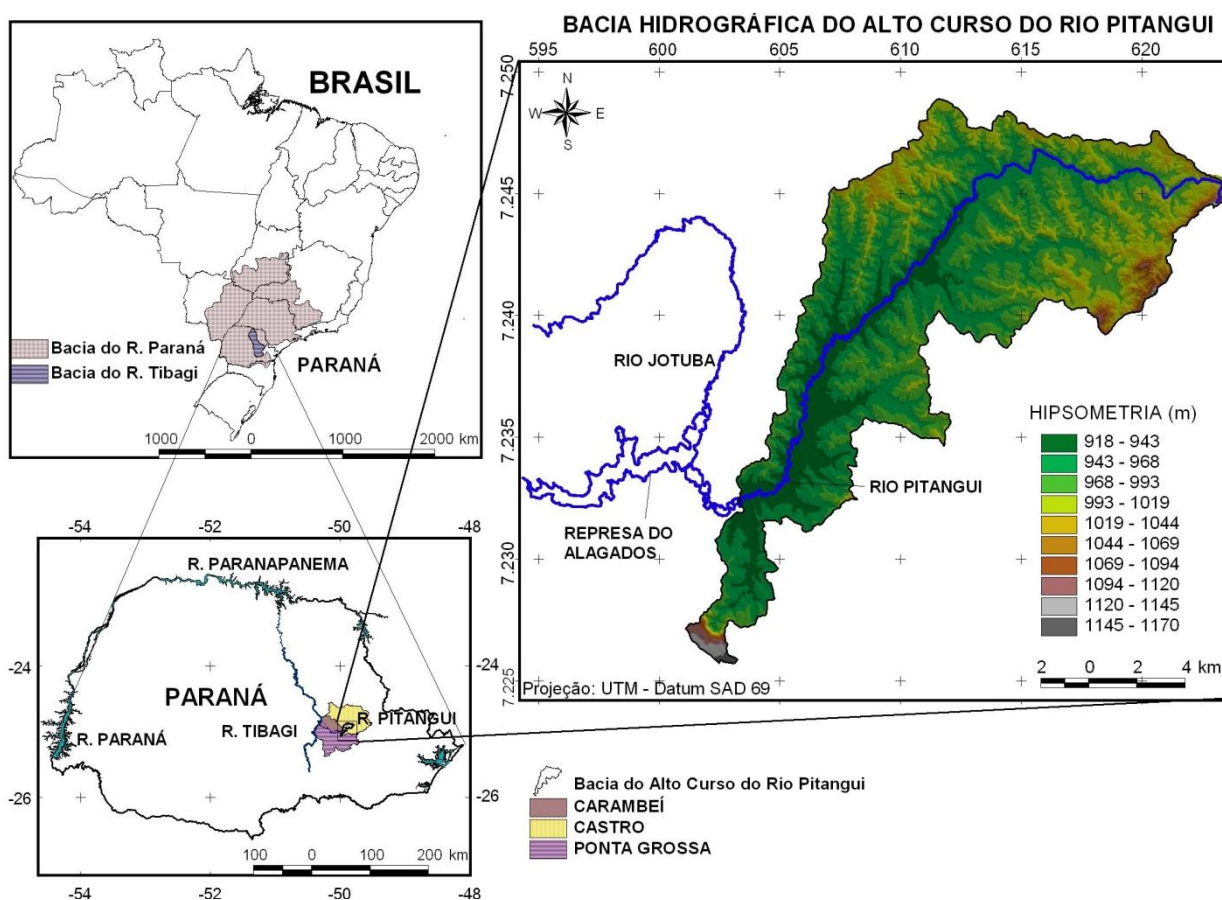


FIGURA 1 – LOCALIZAÇÃO DA BACIA DO ALTO CURSO DO RIO PITANGUI

As coordenadas geográficas da área de estudo são 24°52' a 25°05' de latitude Sul (S) e 49°46' a 50°00' de longitude Oeste (W) (UTM 601.046 a 623.645 e 7.225.713 a 7.248.893). E apresenta altitudes entre 918 a 1.170 m acima do nível do mar.

Essa área é caracterizada por intensas atividades agropecuárias, como o cultivo de milho, soja, aveia, feijão, trigo, sorgo e cevada e a criação de suínos, gado leiteiro, aves (frangos e perus) e ovelhas, em que instalações físicas, muitas vezes, não estão adequadas à legislação ambiental vigente, comprometendo a qualidade da água dos rios e, conseqüentemente, da represa.

Existem, também, várias áreas de exploração mineral (pedreiras, saibreiras, e cascalheiras), sendo que muitas estão abandonadas e sem indícios de alguma ação para minimizar o impacto ambiental deixado e, por isso, apresentam intensos processos erosivos.

## 2.2 CLIMA

Conforme dados do Instituto Agrônomo do Paraná - IAPAR (IAPAR, 2000) e pela classificação de Köppen, o clima da área de estudo é do tipo Cfb (C = chuvoso com inverno frio, f = precipitação pluviométrica durante o ano todo e b = verões amenos) – Clima subtropical úmido mesotérmico, com verões frescos e ocorrências de geadas severas e frequentes no inverno.

Para essa região a média da umidade relativa do ar é entre 70 a 75% e os ventos predominantes são NE no verão e NW no inverno. A temperatura média anual situa-se entre 16 a 18 °C, com médias mínimas de 12 a 14 °C e máximas de 23 a 24 °C. A precipitação média anual, da região em estudo, fica entre 1.400 a 1.600 mm. Já o regime médio de chuvas, no período mais seco (junho a agosto), é de 250 a 350 mm e, no período mais chuvoso (dezembro a fevereiro), é de 500 a 600 mm (IAPAR, 2000).

## 2.3 GEOLOGIA

A geologia da região, em que a BHAP está localizada, engloba unidades do Proterozóico, do Devoniano, do Jurássico-Cretáceo e do Quaternário (Figura 2).

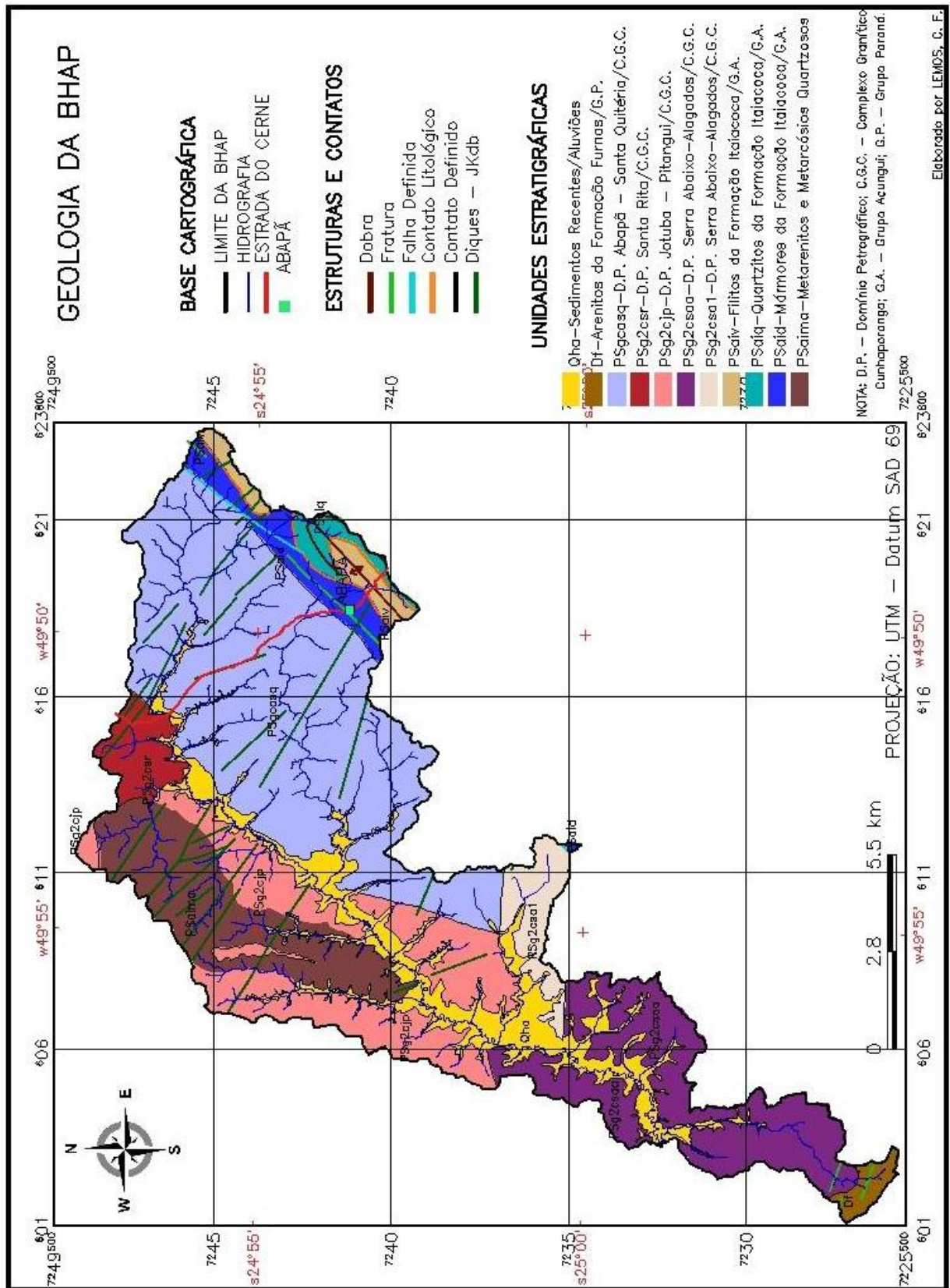


FIGURA 2 – MAPA GEOLÓGICO DA BHAP

FONTE: Adaptado de MINEROPAR (2006b)

Na área situada no extremo nordeste da BHAP ocorrem litologias neoproterozóicas pertencentes à Faixa Itaiacoca (Grupo Açungui), como filitos, calcários e quartzitos. Devido a maior resistência aos processos intempéricos e denudacionais, os quartzitos e os filitos destacam-se na topografia como cristas alongadas e na forma de dobras anticlinal e sinclinal, com eixos orientados na direção NE-SW (Morro do Amola-Faca e Cerro do Arroio Feio) (SZABÓ *et al.*, 2006).

Ao norte da BHAP encontram-se os metarenitos e metarcósios quartzosos, de granulação média a grossa, com grandes quantidades de material caulínico intercalado, que aparecem num grande "teto-pendente", sobre as rochas graníticas do Complexo Cunhaporanga (GUIMARÃES, 2000).

Na maior área da bacia, ocorre o Complexo Granito Cunhaporanga, caracterizado pela presença de granitos e biotita granitos, com variações petrográficas para granodioritos, monzogranitos, biotita granodioritos, quartzomonzodioritos equigranulares a porfiríticas com predominância do feldspato microclínio (GUIMARÃES, 2000; MINEROPAR, 2009).

Ao extremo sudoeste, aparece a escarpa (Formação Furnas), formando um ressalto topográfico, que delimita o Primeiro do Segundo Planalto Paranaense. Esse escarpamento é formado por rocha sedimentar paleozóica do Devoniano (arenito Furnas) e camadas gonduânicas, que não sofreram perturbações orogênicas, apresentando uma paisagem típica de degraus estruturais (MAACK, 1947).

Na porção norte da bacia, o aspecto topográfico do terreno é determinado por um sistema paralelo de diques de diabásio com direção NW-SE. Esses diques estão associados às estruturas rúpteis originadas pelo soerguimento do Arco de Ponta Grossa, por estarem intrudidos nas fraturas que surgiram pela ruptura do Gondwana e abertura do Atlântico Sul (MINEROPAR, 2006b).

Na calha de drenagem do rio principal e na planície de inundação, estão os depósitos aluviais e coluviais, datados do Quaternário e que ainda estão ativos devido ao intemperismo, ao avanço da erosão e ao retrabalhamento dos sedimentos e rochas mais antigas (MINEROPAR, 2006b).

### 2.3.1 Metarenitos e Metarcósios Quartzosos – PSaima

Os metarenitos e os metarcósios quartzosos, que aparecem na porção norte, aparentemente são correlacionáveis ao "Quartzito Serra das Pedras". É a única



unidade litoestratigráfica metamórfica localizada no Complexo Cunhaporanga, que possui denominação informal, pois, até o momento, não foi ainda formalizado. A péssima qualidade dos afloramentos, devido o elevado grau de alteração e o tipo da sua constituição mineralógica (quartzo-feldspático intercalado com apófises graníticas), dificulta a percepção, em campo, da natureza intrusiva do contato entre os mesmos e o granito Cunhaporanga. Sendo, portanto, essa região, identificada por migmatitos ou rochas gnáissicas típicas ou, ainda, por granitos com metarenitos e xistos. Portanto, a existência de apófises graníticas e fraturas preenchidas com argilominerais, orientadas em diferentes direções (algumas com turmalina centimétrica associada), sem espessura significativa, favorecem a interpretação de que os metarenitos e metarcósios comportam-se como encaixantes e se tratam de um grande teto-pendente sobre as rochas essas graníticas (GUIMARÃES, 2000).

Essa unidade constitui-se de metarenitos e metarcósios com estruturas bandadas, dispostos em camadas tabulares centimétricas a métricas, possivelmente refletindo o antigo acamamento sedimentar. De coloração castanha e avermelhada, friáveis (com grãos recristalizados médios a grossos), frequentemente compostos pelos seguintes minerais: mica, quartzo e feldspato esbranquiçados (Figura 3).



FIGURA 3 – METARENITOS E METARCÓSIOS QUARTZOSOS ENCONTRADOS NA BHAP

NOTA: Metarenito e metarcósio bandado. COORDENADAS: UTM – 608.830, 7.244.708 e GEOGRÁFICA – 24°54'32" S, 49°55'20" W; COTA: 1.040 m; DATA: 03.10.2007.

### 2.3.2 Grupo Açungui – PSai

O Grupo Açungui, constituído pelas formações Capiru, Votuverava e Itaiacoca e ainda pelas sequências Antinha e Abapã, é do tipo retroarco, situado entre um arco magmático, posicionado originalmente a oeste ou noroeste, e uma área continental a sudeste, representada pelo embasamento cristalino. Surgiu no Proterozóico Superior com a retomada do regime extensional, forte subsidência, sedimentação terrígena e carbonática e intrusões básicas, em pequenas bacias oceânicas, passando por espessa sedimentação em bacias de antearco. Seu fechamento se deu por uma compressão noroeste-sudeste, ainda durante o Proterozóico Superior, que foi responsável pela tectônica de cavalgamento, com transporte de massa para sul-sudeste e, mais tarde, pelas dobras do Sistema de Dobramento Açungui e pela tectônica transcorrente lateral direita. Na sequência, foi afetada pelo metamorfismo durante o primeiro evento de deformação a 500 milhões de anos e os granitos intrudidos parecem ser contemporâneos à movimentação das falhas transcorrentes (FIORI, 1995; MINEROPAR, 2006b).

Portanto, esse grupo é formado por um espesso pacote dobrado de rochas de baixo grau metamórfico, com direção N40E, que se inicia na região de Itaiacoca (Ponta Grossa – PR), estendendo-se até Itapeva (SP) (GUIMARÃES, 2000; SZABÓ *et al.*, 2006).

Apenas a Formação Itaiacoca ocorre na área de estudo e aparece na parte nordeste da bacia (região de Abapã). Nessa Formação, de ambiente predominante vulcano sedimentar, aparecem os seguintes agrupamentos litológicos: metassiltitos, metavulcânicas, mármore dolomíticos e dolomitos, metarenitos, quartzitos e micaxistos, com a ocorrência de minerais como talco, caulim, mármore dolomítico e filitos vulcânicos (Figura 4) (MINEROPAR, 2009).



FIGURA 4 – CONJUNTO ROCHOSO FORMADO POR FILITOS EXISTENTES NA BHAP

NOTA: Filitos no barranco da Estrada do Cerne. COORDENADAS: UTM – 618.371, 7.241.807 e GEOGRÁFICA – 24°56'04" S, 49°49'40" W; COTA: 991 m; DATA: 03.10.2007.

### 2.3.3 Complexo Granítico Cunhaporanga – PSg2

A área de estudo possui na maior parte de sua extensão superficial sob rochas graníticas do Complexo Granítico Cunhaporanga, de composição predominante hornblenda biotita granodioritos a monzogranitos cinzentos, com intrusões menores associadas e aparece com forte controle na direção NE-SW. O contato das rochas desse complexo faz-se de forma discordante e erosiva com os sedimentos da Formação Furnas e por encaixe nos falhamentos dos metassedimentos do Grupo Açungui. Essa intrusão granitóide parece ser da mesma fase da evolução tectônica colisional proterozóica, do final do Proterozóico Superior, a 500 milhões de anos e aparecem subdivididas em quatro domínios petrográficos, cujos critérios para distinguir esses domínios foram eminentemente texturais e estruturais: Jutuba-Pitangui, Serra Abaixo-Alagados, subdividido com base em diferenças na estrutura da rocha, Abapã-Santa Quitéria e Santa Rita (MINEROPAR, 2006b).

### 2.3.3.1 Domínio petrográfico Jutuba-Pitangui – PSg2cjp

As rochas granitóides desse domínio apresentam coloração acinzentada, com índice de cor entre 10 e 20, fortemente porfiríticas (fenocristais de feldspato potássico  $\geq 3$  cm e matriz média-grossa) e, subordinadamente, equigranulares. Tendo, localmente, afloramentos de metarenitos e metarcósios com claros sinais de que representam megaxenólitos envolvidos pelas rochas magmáticas e ocasionais diques aplíticos, com biotita granitos equigranulares médios, de textura gráfica e índice de cor  $\leq 5$ . A estrutura dos granitóides aparece maciça ou foliada a fortemente foliada (eventualmente com aspecto gnáissico). Em alguns pontos identificam-se corpos tabulares de anfibólio biotita granitóides equigranulares (6 a 30 cm de espessura), intrusivos nas rochas porfiríticas. O contato destas rochas equigranulares com as porfiríticas é marcado por uma estreita faixa milimétrica/centimétrica, de cor branca, constituída essencialmente por quartzo e feldspato, aparentemente gradando para a fácies equigranular (GUIMARÃES, 2000).

### 2.3.3.2 Domínio petrográfico Serra Abaixo-Alagados – PSg2csa

Ao sudoeste da área de estudo, chega-se à região de Alagados, onde predominam rochas acinzentadas, com índice de cor normalmente entre 10 e 20, constituídos por plagioclásio idiomórfico fortemente zonado (núcleos de labradorita cálcica), feldspato potássico, quartzo (estes dois intersticiais ao plagioclásio), anfibólio (com núcleos de clinopiroxênio), biotita e titanita. Os minerais acessórios são apatita, zircão e opacos, onde a magnetita aparece grande quantidade. Apresentam estrutura francamente equigranulares ou fortemente porfiríticas, com matriz fina a muito fina, que passam gradualmente, para litotipos de mesma composição, porém equigranulares médios, havendo também termos intermediários inequigranulares (GUIMARÃES, 2000).

Já na região do Arroio Moinho a Mato Limpo, os granitóides são maciços e fortemente porfiríticos, com matriz fina a afanítica. Os fenocristais são euedrais e centimétricos de feldspato potássico (3-9 cm; porém em quantidade reduzida), milimétricos de plagioclásio e quartzo (ambos 3-10 mm), anfibólio (até 5 mm), biotita e titanita (2-3 mm). Essa zona, caracterizada por forte contraste textural entre fenocristais e matriz, indica resfriamento rápido do magma durante sua

colocação. Como a passagem para as áreas ocupadas por rochas equigranulares não está acompanhada por mudanças mineralógicas, tanto os termos porfiríticos (fácies de borda) como os equigranulares (fácies interna) provavelmente integrariam um mesmo corpo magmático. Pequenos enclaves microgranulares dioríticos e essencialmente biotíticos ("surmicáceos") são comuns nessas rochas (GUIMARÃES, 2000).

A área pertencente a esse Complexo apresenta-se topograficamente dissecada, em que os raros afloramentos são encontrados principalmente ao longo das drenagens e na forma de matacões esparsos (Figura 5).



FIGURA 5 – AFLORAMENTO DO COMPLEXO GRANÍTICO CUNHAPORANGA NA BHAP

NOTA: Afloramento de material intemperizado de granito com feldspato potássico semi-intemperizado. COORDENADAS: UTM – 603.862, 7.231.548 e GEOGRÁFICA – 25°01'41" S, 49°58'14" W; COTA: 934 m; DATA: 03.10.2007.

#### 2.3.3.3 Domínio petrográfico Abapã-Santa Quitéria – PSgcasq

No trecho que vai desde sudoeste de Abapã até Santa Quitéria, passando por Socavão, são vistos blocos de granitóides de cor acinzentada, com índice de cor normalmente entre 10 e 15, mas podendo oscilar entre 7 a 25, sempre com boa quantidade de anfibólio. Quase sempre levemente foliados (eventualmente maciços ou então moderadamente foliados), são, em geral, inequigranulares a porfiríticos, com fenocristais de feldspato potássico com 1 a 2 cm. Enclaves microgranulares, dioríticos, ou com a mesma composição dos granitóides, são comuns em todas as rochas desse domínio, havendo em menores proporções xenólitos de metassedimentos (GUIMARÃES, 2000).



Na região imediatamente junto ao contato com rochas do Grupo Itaiacoca são identificados granitóides portadores de texturas de granulação mais fina, indicativas de terem se formado em ambientes com elevado contraste térmico entre o magma formador destas rochas e suas encaixantes. As rochas tidas aqui como " fácies de borda " mostram uma paragênese formada por plagioclásio (com destacada zonação), anfibólio, biotita, quartzo, feldspato potássico (às vezes só na matriz) e titanita primária. A magnetita, apatita e zircão são vistos em quantidades subordinadas. São cinza-escuras a cinza-esverdeadas (róseas quando alteradas), com 5 a 7% de fenocristais máficos. A matriz é afanítica a fina, com microfenocristais milimétricos de plagioclásio, anfibólio (ambos alcançando até – 5 mm) e biotita nas rochas granodioríticas, além de quartzo bipiramidal (com até 1 cm de diâmetro) e feldspato potássico centimétrico nos monzogranitos (GUIMARÃES, 2000).

#### 2.3.3.4 Domínio petrográfico Santa Rita – PSg2csr

Este domínio petrográfico aparece no trecho entre Capão Alto e o Rio Pitangui. Especialmente próximo a Santa Rita, tem-se diversas exposições de monzogranito foliado, constituídos por oligoclásio (com grande quantidade de mirmequitas), feldspato potássico (muitas inclusões de plagioclásio), quartzo e biotita, além de clorita, zircão e apatita. São muito comuns vênulas e aplitos quartzo-feldspáticos de dimensão milimétrica-centimétrica. A textura é equigranular fina a média (raros cristais maiores de feldspato potássico) e cor branco-acinzentada a rósea, com índice de cor  $\leq 7$  (GUIMARÃES, 2000).

Em cortes da Estrada do Cerne, observa-se uma rocha fortemente intemperizada, de cor castanho-clara a marrom. Com índice de cor em torno de zero, seus únicos minerais máficos são raros grãos acinzentados de brilho metálico e de reduzida dimensão. Maciça, com fraturas e vênulas ocasionais, possui granulação muito fina a média, com eventuais microfenocristais milimétricos de feldspato, e uma fina borda de alteração (GUIMARÃES, 2000).

#### 2.3.4 Grupo Paraná – Df

O Grupo Paraná ocorre sob a Formação Furnas e aparece na parte sul da área de estudo. Sua origem e evolução estão associadas a uma série de processos geodinâmicos endógenos, iniciados no Mesozóico Superior, e exógenos, associados a alternâncias climáticas e à ação da erosão intensa, ocorrida principalmente durante o Terciário e o Quaternário Inferior (MINEROPAR, 2001).

Essa Formação possui a homogeneidade litológica singular, como característica marcante, e é composta por um pacote de arenitos médios a grosseiros, por vezes conglomeráticos, de 200 m de espessura, aproximadamente. Em geral, o arenito é esbranquiçado, amarelado e acinzentado, formado por grãos subangulares e subarredondados de quartzo e quartzito e pequena quantidade de grãos de feldspato caulinizado e com estratificações cruzadas, predominantemente acanaladas, de um ambiente continental fluvial (Figura 6). Está assentada discordantemente sobre rochas ígneas e metamórficas do embasamento (MINEROPAR, 2001; 2006b).



FIGURA 6 – ASPECTO TÍPICO DO ARENITO DA FORMAÇÃO FURNAS

FONTE: MINEROPAR (2001)

A linha da escarpa de Furnas é muito irregular, com padrão festonado, devido aos recortes em anfiteatros profundos, cortados pelos rios que formam cânions (Figura 7). Esses rios estão geralmente condicionados por falhas antigas, fraturas e diques básicos, cujas orientações N-S e E-W são transversais às direções regionais do escarpamento (MINEROPAR, 2001).



FIGURA 7 – ESCARPA DEVONIANA DA FORMAÇÃO FURNAS

NOTA: Foto a – Vista da escarpa do Furnas ao fundo; Foto b – Detalhe da escarpa. COORDENADAS: UTM – 602.556, 7.233.110 e GEOGRÁFICA – 25°01'41" S, 49°59'59" W; COTA: 986 m; DATA: 22.10.2007.

### 2.3.5 Grupo São Bento – JKdb

A fragmentação do antigo continente Gondwana, no Mesozóico, provocou fissuras nas rochas, por onde ascendeu o magma básico, dando origem aos diques de diabásio e aos derrames de basalto. Essas rochas intrusivas básicas e intermediárias apareceram juntas e paralelas ao Arco de Ponta Grossa, registrando as fraturas que conduziram as lavas da Formação Serra Geral à superfície do continente (MINEROPAR, 2001; 2006b).

Os diques apresentam coloração cinza escura à preta (Figura 8), devido à abundância de minerais ferromagnesianos, com espessuras variando de submétrica a dezenas de metros. O comprimento varia de 1 a 50 km e a direção preferencial é N40°/60°W (UEPG, 2002).



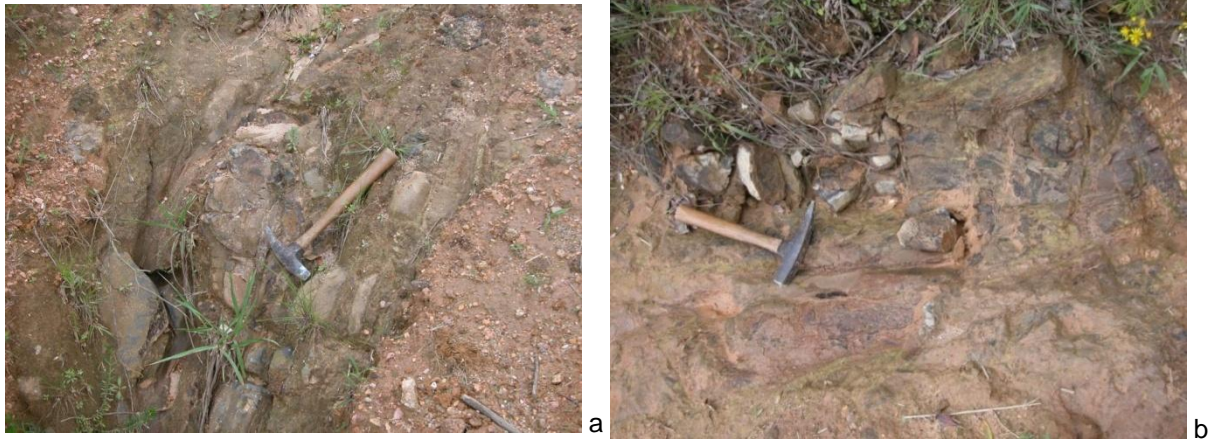


FIGURA 8 – AMOSTRA DOS DIQUES DE DIABÁSIO LOCALIZADOS NA BHAP

NOTA: Foto a: COORDENADAS: UTM – 608.073, 7.239.262 e GEOGRÁFICA – 24°57'29" S, 49°55'46" W; COTA: 974 m; DATA: 22.10.2007; Foto b: COORDENADAS: UTM – 607.754, 7.239.547 e GEOGRÁFICA – 24°57'20" S, 49°55'58" W; COTA: 966 m; DATA: 22.10.2007.

#### 2.3.6 Depósitos Aluviais e Coluviais – Qha

Esses depósitos são formados por sedimentos quaternários inconsolidados, cuja formação permanece ocorrendo até a atualidade, devido à erosão e deposição dos produtos do intemperismo de litologias mais antigas (MINEROPAR, 2001).

O processo formador dos depósitos aluviais é hidráulico-deposicional e estes estão condicionados às calhas de drenagem dos rios e planícies de inundação. Já os depósitos coluviais (Figura 9) ocorrem localmente em encostas, provenientes de movimentos lentos de massas e são constituídos de materiais argilosos com espessuras variando de submétrica a métricas, e depósitos arenosos subordinados. O predomínio de material detrítico argiloso deve-se aos tipos de rochas encontradas na região, representadas predominantemente por granitos e o clima (UEPG, 2002).



FIGURA 9 – ASPECTO DO DEPÓSITO COLUVIAL EXISTENTE NA BHAP

NOTA: Depósito Coluvial no barranco de Estrada. COORDENADAS: UTM – 602.8742, 7.231.464 e GEOGRÁFICA – 24°59'28" S, 49°58'53" W; COTA: 946 m; DATA: 22.10.2007.

Na área de estudo aparecem, também, depósitos aluvionares isolados, com 35 m acima do nível de base atual (Figura 10).



FIGURA 10 – DEPÓSITO ALUVIAL ISOLADO QUE OCORRE NA BHAP

NOTA: Entulhe de vale-planície aluvial isolado a 37 m acima do nível de base atual. COORDENADAS: UTM – 607.753, 7.239.549 e GEOGRÁFICA – 24°57'20" S, 49°55'57" W; COTA: 955 m; DATA: 03.10.2007.

## 2.4 GEOMORFOLOGIA

A BHAP insere-se quase que totalmente (161,874 km<sup>2</sup>) na Unidade Morfoestrutural do Cinturão Orogênico do Atlântico, cuja Unidade Morfoescultural é a do Primeiro Planalto Paranaense e, apenas uma pequena porção da área de estudo (1,663 km<sup>2</sup>), ao sudoeste da bacia, se encontra na Bacia Sedimentar do Paraná, no Segundo Planalto Paranaense (Figura 11). O gradiente nesta área de estudo é de 300 m e a variação da altitude está entre 918 a 1.170 m sobre o nível do mar.

A subunidade morfoescultural predominante é a do Planalto de Castro – 1.2.10 (160,932 km<sup>2</sup>), com direção geral da morfologia para NW/SE, onde o relevo é relativamente uniforme por ter sido esculpido em rochas do Complexo Granítico Cunhaporanga e por ser cortado por diques de diabásio. Caracteriza-se por apresentar uma paisagem variando de suavemente ondulada a relativamente acidentada, com planícies e várzeas intercaladas, constituídas por sedimentos colúvio-aluvionares recentes no curso principal. As características dominantes dessa região são: dissecação média; classe de declividade  $\leq 6\%$ , topos alongados e aplainados, vertentes convexas-côncavas e vales abertos de fundo chato (SANTOS *et al.*, 2006).

A área da subunidade morfoescultural denominada Planalto Dissecado do Alto Ribeira – 1.2.8 (0,942 km<sup>2</sup>) apresenta uma dissecação alta e classe de declividade predominante entre 12 a 30%, com topos alongados e em cristas, vertentes retilíneas e côncavas e vales em "V" encaixados. Já a subunidade morfoescultural Planalto de São Luiz do Purunã – 2.3.1 (1,663 km<sup>2</sup>), apresenta dissecação baixa, classe de declividade predominante  $\leq 6\%$ , topos aplainados, vertentes convexas e vales em calha muito encaixados, modelada em rochas da Formação Furnas (MINEROPAR, 2006a).



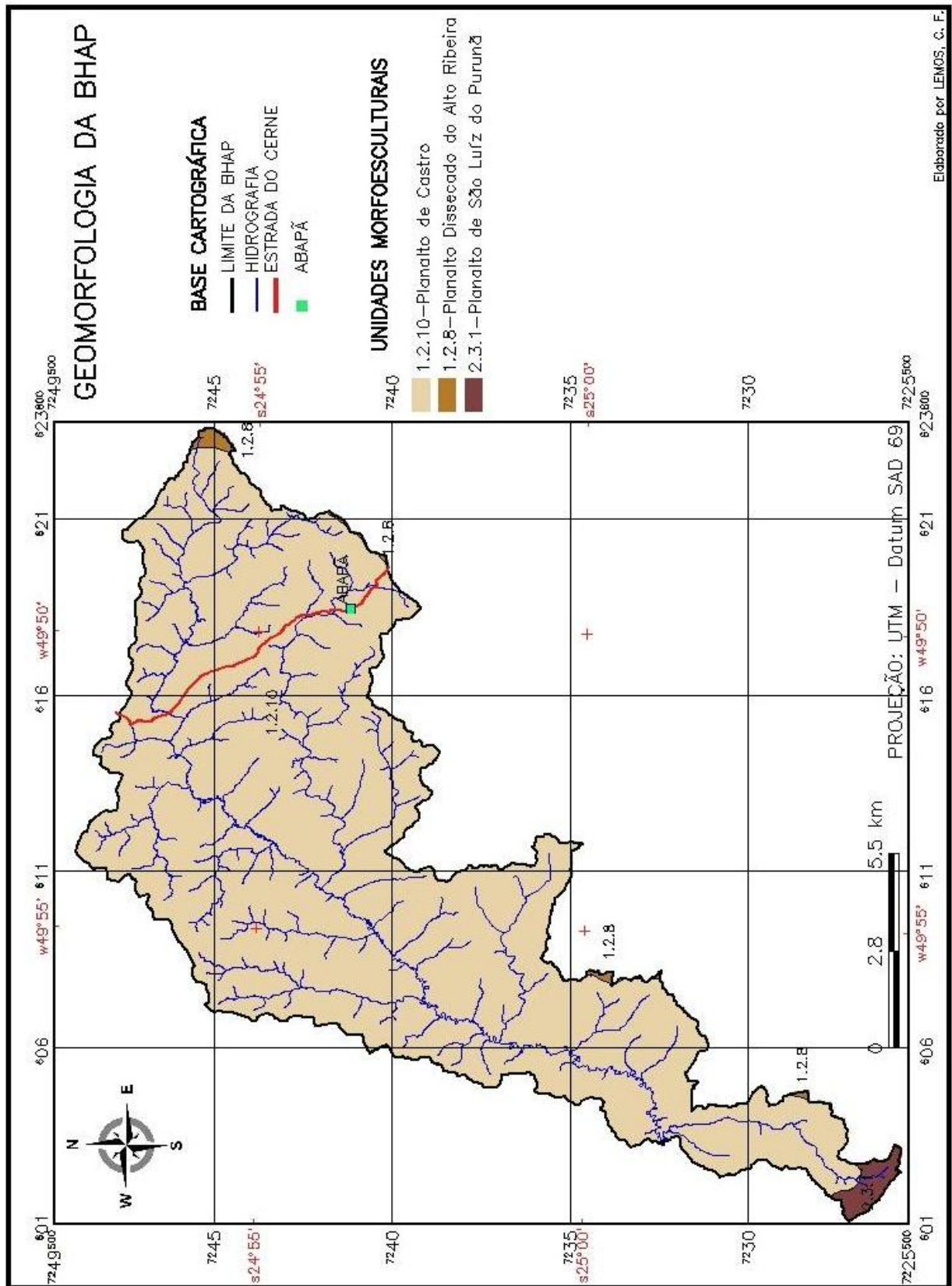


FIGURA 11 – MAPA GEOMORFOLÓGICO DA BHAP

FONTE: Adaptado de MINEROPAR (2006a)

## 2.5 SOLOS

Os solos existentes na BHAP, que pertencem ao Primeiro Planalto, sofrem influências da alteração dos diques de diabásio, existentes em quase toda a área e, por isso, são predominantemente argilosos, com poucas variações de textura ao longo do perfil, de coloração avermelhada ou brunada e profundos, quando a declividade favorece. Já os solos pertencentes à região do Segundo Planalto são rasos, de granulometria média ou arenosa ao tato, pelo fato do substrato litológico (Formação Furnas) ser formado por arenitos intercalados com siltitos, com cor predominante amarelo claro e apresentando afloramentos de rocha.

De acordo com o Sistema Brasileiro de Classificação de Solos – SBCS, elaborado pela Empresa Brasileira de Pesquisas Agropecuária – EMBRAPA (EMBRAPA, 2006) e com os trabalhos realizados por, Bognola *et al.* (2002a), Bognola *et al.* (2002b), e Fasolo *et al.* (2002b) os solos existentes na BHAP são: os Afloramentos Rochosos, os Cambissolos Háplicos, os Latossolos Brunos, os Latossolos Vermelhos e as seguintes associações: Nitossolo Háptico e Cambissolo Háptico, Organossolo Mésico e Gleissolo Melânico, Neossolo Litólico e Afloramento Rochoso, Neossolo Litólico e Cambissolo Háptico, Neossolo Litólico e Cambissolo Húmico e Cambissolo Háptico e Latossolo Bruno (Figura 12 e Tabela 1).

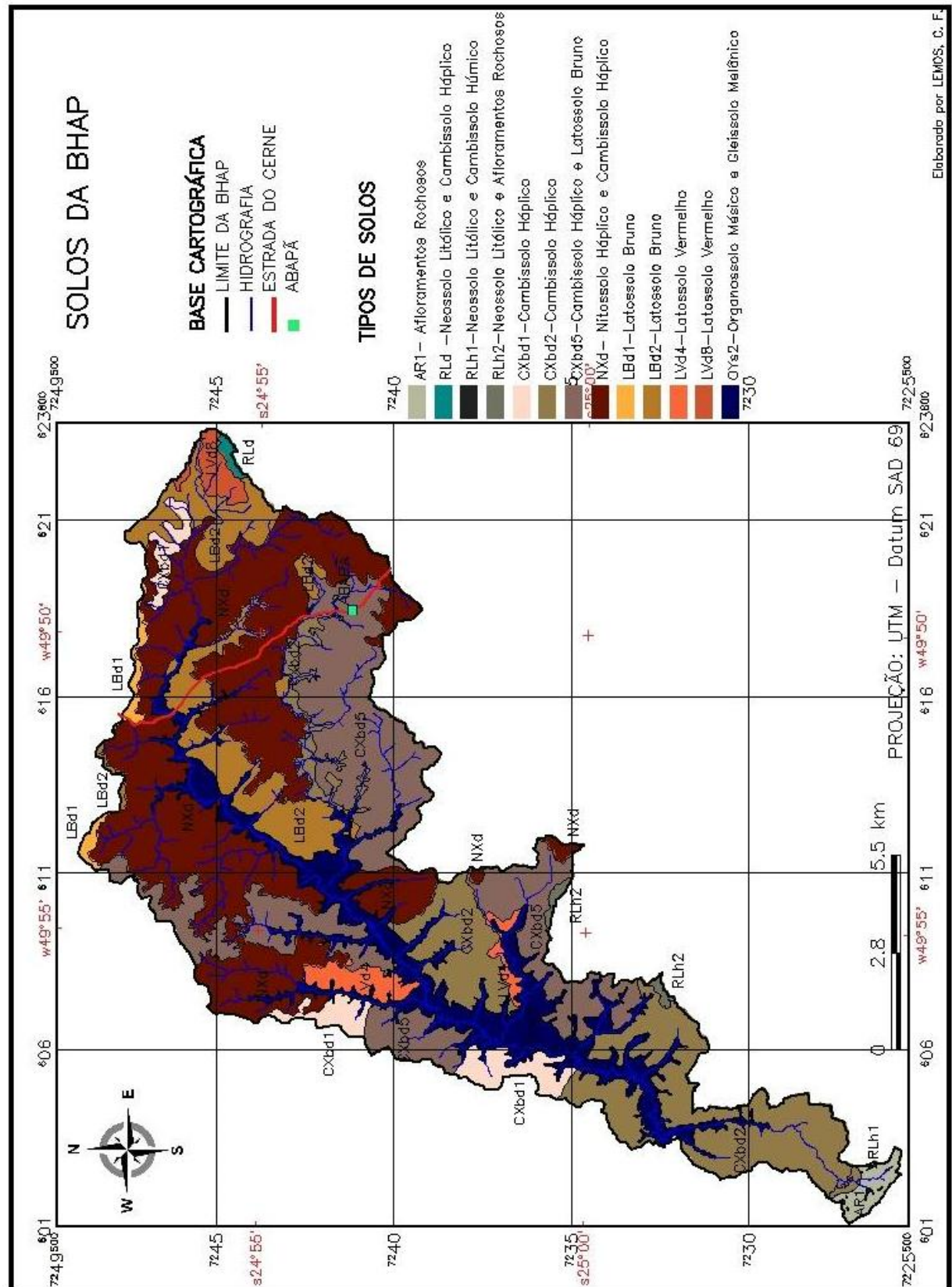


FIGURA 12 – MAPA DOS SOLOS EXISTENTES NA BHAP

FONTE: Bognola *et al.* (2002a), Bognola *et al.* (2002b) e Fasolo *et al.* (2002b)

NOTA: As classes com as descrições dos solos estão apresentadas na Tabela 6.

TABELA 1 – CLASSE, DESCRIÇÃO E ÁREAS OCUPADAS PELOS DIFERENTES TIPOS DE SOLOS QUE OCORREM NA BHAP

CLASSES	DESCRIÇÃO	ÁREA (km <sup>2</sup> )
AR1	Afloramentos Rochosos (Arenitos).	1,594
CXbd1	Cambissolo Háplico Tb Distrófico típico textura argilosa epieutrófico fase campo subtropical relevo ondulado de vertentes curtas (declives variando de 8 a 20%).	5,481
CXbd2	Cambissolo Háplico Tb Distrófico típico textura média e argilosa fase campo e floresta subtropical relevo ondulado e forte ondulado (declives variando de 8 a 20% e de 20 a 45%).	26,103
CXbd5	Associação de Cambissolo Háplico Tb relevo ondulado + Latossolo Bruno ambos Distróficos típicos textura argilosa epieutróficos fase campo subtropical relevo suave ondulado (declives variando de 3 a 8%).	35,184
LBd1	Latossolo Bruno Distrófico típico textura argilosa epieutrófico fase campo subtropical relevo suave ondulado (declives de 3 a 6%).	1,214
LBd2	Latossolo Bruno Distrófico típico textura argilosa epieutrófico fase campo subtropical relevo suave ondulado (declives de 6 a 8%).	15,038
LVd4	Latossolo Vermelho Distrófico típico textura argilosa fase campo subtropical relevo suave ondulado (declives de 6 a 8%).	2,931
LVd8	Latossolo Vermelho Distrófico típico textura argilosa fase floresta subtropical relevo suave ondulado (declives de 6 a 8%).	1,790
NXd	Associação de Nitossolo Háplico latossólico relevo ondulado + Cambissolo Háplico Tb típico ambos Distróficos textura argilosa fase floresta subtropical relevo forte ondulado (declives de 20 a 45%).	51,395
OYs2	Associação de Organossolo Mésico Sáprico típico + Gleissolo Melânico Distrófico hístico e típico epieutrófico ambos fase campo e floresta subtropical de várzea relevo plano (declividades variáveis de 0 a 3%).	21,651
RLd	Associação de Neossolo Litólico + Cambissolo Háplico Tb ambos Distróficos típicos textura média e argilosa fase floresta subtropical relevo forte ondulado e montanhoso (declives variando de 20 a 45% e de 45 a 75%) substrato filitos e xistos.	0,425
RLh1	Associação de Neossolo Litólico Húmico + Cambissolo Húmico Distrófico ambos típicos textura média fase campo subtropical relevo suave ondulado (declives variando de 3 a 8%) substrato arenito.	0,069
RLh2	Associação de Neossolo Litólico Húmico típico textura média a arenosa fase campo e floresta subtropical + Afloramentos Rochosos ambos relevo montanhoso e escarpado (declives variando de 45 a 75% e acima de 75%) substrato mármore dolomíticos.	0,662
<b>ÁREA TOTAL DA BACIA</b>		<b>163,537</b>

### 2.5.1 Afloramentos de Rocha – AR1

Os Afloramentos de Rocha podem ser definidos como unidades cartográficas integradas por tipo de terreno e não por solos propriamente ditos. Ocorrem como exposições naturais, brandas ou duras de diferentes tipos de rochas na superfície ou com reduzidas porções de materiais detríticos grosseiros, não classificáveis especificamente como solos. São formados por delgadas acumulações de material heterogêneo e inconsolidado. Este material é constituído por largas porções de

fragmentos provenientes da desagregação das rochas locais com algum material terroso. A ocorrência desses afloramentos está relacionada, usualmente, às superfícies de topografia vigorosa, com predomínio de formas acidentadas, tais como maciços montanhosos (BOGNOLA *et al.*, 2002a).

Na unidade mapeada, esse tipo de terreno está sob a denominação de AR1, constituído de exposições de arenitos pertencentes à Formação Furnas. Apresenta teores médios e altos de matéria orgânica, ocorre em terrenos movimentados com relevos que vão do montanhoso ao escarpado, em altitudes em torno de 1.000 m e, por isso, a área deve ser conservada com a vegetação natural.

#### 2.5.2 Cambissolos Háplico – CXbd e Cambissolos Húmico

A sequência de horizontes nos Cambissolos dessa região é A, Bi, C, ou seja, com horizonte B incipiente, pouco profundo (50-100 cm), imediatamente abaixo do horizonte A de cor escura, com valor e croma  $\leq 3$ . Em geral, apresentam-se de moderadamente a bem drenados, com transições suaves entre os horizontes e apresentam certo grau de evolução; porém, não o suficiente para meteorizar completamente minerais primários de mais fácil intemperização, como feldspatos, micas, hornblendas e outros. Pelas condições de relevo, profundidade e textura com elevada participação da fração silte, são solos extremamente susceptíveis à erosão e, na área em estudo, foram identificados dois tipos distintos de Cambissolos: o Cambissolo Háplico e o Cambissolo Húmico (FASOLO *et al.*, 2002b).

O Cambissolo Háplico apresenta-se, predominantemente, com textura argilosa ao longo de todo perfil e aparece com maior incidência no Primeiro Planalto por estar relacionado à litologia do Grupo Açungui. Ocupa uma estreita faixa ao longo das drenagens onde ocorre o relevo suave ondulado e, quando o relevo é um pouco mais movimentado, passa a ser o solo dominante. Aparece com o Latossolo Bruno e Nitossolo Háplico, ocupando uma delgada faixa nas altitudes elevadas e planas. Esses solos tendem a ter ligeira a moderada suscetibilidade à erosão.

O Cambissolo Húmico apresenta-se com textura franco arenosa ou franco argilo-arenosa na superfície e franco argilo-arenosa em profundidade. Encontra-se no Segundo Planalto, sendo originado de material proveniente da decomposição do arenito Furnas. Encontra-se em áreas de relevo suave ondulado e plano e quando o relevo passa a ser ondulado, ou mesmo forte ondulado, está associado ao Neossolo



Litólico. Quando as declividades são maiores que 20%, esses solos são muito suscetíveis à erosão.

### 2.5.3 Latossolos Bruno – LBd e Latossolos Vermelho – LVd

Os Latossolos são solos muito evoluídos e, por isso, predominam na sua constituição os óxidos de ferro e de alumínio e minerais de argila do grupo da caulinita (1:1). São solos, normalmente, muito profundos (> 2 m), friáveis ou muito friáveis, muito porosos, fortemente drenados e com sequência de horizontes A-Bw-C pouco diferenciados, sendo o horizonte subsuperficial do tipo latossólico. As características marcantes são a distribuição de argila relativamente uniforme ao longo do perfil, os baixos teores de silte e da relação silte/argila, a baixa capacidade de troca de cátions e o alto grau de floculação das argilas, responsável pela pouca mobilidade destas e pela alta estabilidade dos agregados do solo. Esta estabilidade, juntamente com a alta porosidade, a boa permeabilidade e o relevo suave ondulado, confere a esses solos uma elevada resistência à erosão (BOGNOLA *et al.*, 2002a; BOGNOLA *et al.*, 2002b; FASOLO *et al.*, 2002b).

Em condições naturais, são solos que apresentam baixa fertilidade natural, no entanto, é o único fator de restrição quanto ao uso agrícola. Ao longo dos anos, com o emprego de corretivos e fertilizantes, para a correção da acidez e elevação dos níveis de nutrientes a um patamar adequado, resulta-se na uniformidade do potencial produtivo dos solos dessa classe. A principal preocupação que se deve ter atualmente é com a ocorrência de déficit hídrico que, dependendo da época e da duração, pode comprometer seriamente a produtividade da lavoura (BOGNOLA *et al.*, 2002a; BOGNOLA *et al.*, 2002b; FASOLO *et al.*, 2002b).

Esses solos foram muito influenciados pelo uso e manejo, quando ainda prevalecia na área o plantio convencional, pois, ainda hoje, observa-se que, em alguns locais, aparece uma camada moderadamente compactada logo abaixo da camada arável (entre  $\pm 8$  cm e  $\pm 15$  cm). Esse tipo de manejo resultou na diminuição da porosidade total e consequente aumento da densidade, maior escoamento superficial da água das chuvas e maior arraste de partículas. A predominância de estrutura granular, o fraco grau de desenvolvimento da estrutura em blocos subangulares e o relevo ondulado são as características que mais expõem esses solos à erosão. Porém, com o advento do uso do plantio direto, que contribui para a

manutenção ou mesmo para o aumento dos níveis de matéria orgânica, observa-se certa diminuição aos danos causados pela erosão. Foram identificadas, na área em estudo, duas modalidades de Latossolos: o Latossolo Bruno – LBd e o Latossolo Vermelho – LVd (FASOLO *et al.*, 2002b).

O Latossolo Bruno ocorre, quase sempre, nas maiores altitudes da área de estudo, em que prevalece o clima frio, e úmido e em relevo plano e suave ondulado, ocupando na paisagem as superfícies mais estáveis, situadas quase sempre nos divisores de água. Possui um horizonte "A" espesso (30 cm ou mais em condições naturais), predomínio de textura argilosa, e com elevados teores de matéria orgânica, entre 4 e 6%, e o horizonte "B" pode ser todo ele de cor brunada, com textura argilosa ou muito argilosa em profundidade e predomínio do matiz 5,0YR nos primeiros 50 cm e o restante, inclusive o horizonte C, mais avermelhado. O solo classificado como Latossolo Bruno Distrófico apresenta excelente condição física para o tráfego de máquinas, poucos dias após as chuvas, pois está em relevo altamente favorável, não oferecendo nenhum impedimento à mecanização.

O Latossolo Vermelho apresenta-se distrófico em subsuperfície, aparece em relevo suave ondulado, ocupando na paisagem as superfícies mais antigas, situadas quase sempre nos divisores de água. O horizonte "A" é de cor bruno avermelhado escuro (5YR 3/3) e textura franco argilo-arenoso ou franco argiloso. No horizonte "Bw" (B latossólico) a cor é vermelho-escuro (2,5YR 3,5/6) e a textura franco argiloso ou argila.

#### 2.5.4 Nitossolos Háplico – NXd

Os Nitossolos são solos minerais, originados da alteração de rochas eruptivas básicas (basalto), bem drenados, profundos e de coloração variando de vermelho a brunada. Ocorrem predominantemente em relevo ondulado (8 a 20% de declive), em sequência de horizontes "A" – "Bt" (B textural) – "C", de textura argilosa ou muito argilosa, com superfície dos agregados reluzente, relacionada à cerosidade e/ou superfície de compressão. A erosão é facilitada principalmente pelo relevo ondulado, e, em alguns casos, forte ondulado, e pela presença de gradiente textural. Quanto menor a espessura do horizonte superficial e maior a diferença dos teores de argila entre os horizontes "A" e "Bt", maior será a suscetibilidade à erosão. Apresentam boa capacidade de infiltração e retenção de água (FASOLO *et al.*, 2002a).

Na área em estudo prevalece a variedade do 2.º nível categórico (subordem) do Nitossolo Háplico. Esse solo ocorre associado ao Cambissolo Háplico, constituindo a unidade de mapeamento NXd. O principal componente dessa associação, o Nitossolo Háplico, reúne melhores condições de uso do que o componente secundário, que, além de menor profundidade, ocupa as áreas mais declivosas do relevo regional, estando, assim, mais sujeito à ação da erosão (FASOLO *et al.*, 2002b).

#### 2.5.5 Organossolo Mésico e Gleissolo Melânico – OYs2

Os Organossolos são solos hidromórficos, essencialmente orgânicos, pouco evoluídos e provenientes de depósitos de restos vegetais, com grau variável de decomposição. Apresentam horizonte "O" ou "H" (hístico), satisfazendo os requisitos mínimos de 40 cm de espessura e 8% de teor de carbono. Na área onde aparecem esses solos há o predomínio de materiais orgânicos, relativamente bem decompostos (*muck*) e, por isso, apresentam cor preta, devido ao alto teor de carbono orgânico. Esses materiais estão assentes em substrato mineral de textura argilosa, porém, os mesmos impõem preponderância de suas propriedades sobre os constituintes minerais e se acumulam, predominantemente, nas partes mais baixas das várzeas, em cotas altimétricas próximas as dos rios, em ambientes mal ou muito mal drenados. Ou seja, esses solos se desenvolveram sob condições de permanente encharcamento, com lençol freático à superfície, ou próximo dela, durante alguns períodos do ano e, como consequência, pouca quantidade de oxigênio no solo (FASOLO *et al.*, 2002a; FASOLO *et al.*, 2002b; BOGNOLA *et al.*, 2002a).

Os Organossolos encontrados na área da bacia são do tipo mésico (teor de matéria orgânica entre 0,20 e 0,65 kg/kg de solo e densidade > 0,15 mg/m<sup>3</sup>); sáprico (matéria orgânica em estágio avançado de decomposição). A profundidade da camada orgânica, na forma contínua ou acumulativa, está dentro de 80 cm, contados a partir da superfície. Em alguns locais há casos em que esta camada se encontra recoberta pela deposição de material mineral pouco espessa. Esses solos, sob cultivo, após a retirada do excesso d'água pela drenagem, tendem a diminuir de volume, causando um rebaixamento superficial bastante acentuado, devido à ação dos micro-organismos responsáveis pela decomposição dos compostos orgânicos. Possui baixa fertilidade e grandes limitações ao uso agrícola, devido ao excesso de

água que impede a aeração e não permite o uso de máquinas e implementos agrícolas. Por isso, cuidados especiais devem ser tomados no que diz respeito ao manejo da água, uso de máquinas pesadas (baixa capacidade de suporte), risco de fogo e perigo de dessecamento irreversível (FASOLO *et al.*, 2002a).

Já os Gleissolos são solos que apresentam horizonte glei dentro dos primeiros 50 cm da superfície, ou a uma maior profundidade, desde que não haja outro horizonte diagnóstico de superfície acima deste. Normalmente, desenvolvem-se em sedimentos recentes nas proximidades dos cursos d'água e em materiais colúvio-aluviais sujeitos a condições de hidromorfia, ou seja, em locais sujeitos a grande influência do lençol freático, na superfície ou próximo dela, por longo período de tempo. Aparecem sob vegetação hidrófila, geralmente, em áreas planas, em locais mal ou muito mal drenados. Portanto, são solos sujeitos às restrições impostas pela grande influência da água no solo e condicionados sempre ao relevo e natureza do material originário (BOGNOLA *et al.*, 2002a).

Os Gleissolos apresentam um horizonte hístico com altos teores de matéria orgânica. Sua espessura é menor de 40 cm, alta saturação por bases no horizonte superficial e textura argilosa (>35% de argila) no horizonte glei. As cores são neutras nos horizontes subsuperficiais, geralmente com mosqueados proeminentes sob fundo de cromas baixos, em virtude da redução do ferro. Possuem um alto potencial para agricultura, se manejados convenientemente (CARVALHO *et al.*, 2002; BOGNOLA *et al.*, 2002a).

Na área de estudo, o Organossolo e o Gleissolo ocorrem associados, sendo denominado, na unidade de mapeamento, como OYs2. Esses solos ocorrem em toda a extensão da bacia, nos fundos de vales ao longo dos canais fluviais, e apresentam semelhante grau de erodibilidade.

#### 2.5.6 Neossolo Litólico – RL

Na região, aparecem os Neossolos Litólicos, ou seja, solos com horizonte "A" assentado diretamente sobre a rocha ou sobre um horizonte "C", que apresentam um contato lítico dentro de 50 cm da superfície do solo. São formados a partir de diferentes materiais de origem, compreendendo granitos, migmatitos e arenitos, entre outros, sendo comum aparecer, com proporções significativas, fragmentos de rocha, pedras e cascalhos no corpo do solo ou à superfície dos mesmos. Portanto,

no Primeiro Planalto predominam solos com textura média ou argilosa e, no Segundo Planalto, quando derivados do arenito de Furnas, a textura é arenosa ou média leve, compreendendo as classes texturais areia, areia franca e franco arenosa (BOGNOLA *et al.*, 2002a; BOGNOLA *et al.*, 2002b; FASOLO *et al.*, 2002b).

As características morfológicas desses solos se restringem praticamente às do horizonte "A", o qual varia, em média, de 15 a 40 cm de espessura. Ou seja, quando o horizonte "A" tem alto teor de matéria orgânica (A húmico), há influência marcante na cor, na consistência e estrutura, caso contrário, depende do tipo de material que deu origem ao solo. Quando o horizonte "A" está assente diretamente sobre a rocha dura, há certa dificuldade ou impedimento da penetração das raízes e do armazenamento de água que, após a saturação, tende a escorrer superficialmente na forma de enxurrada, causando danos enormes, proporcionais à declividade do terreno. Nas áreas menos declivosas e onde os solos apresentam um horizonte "C" brando entre o "A" e o "R", as restrições ao uso tornam-se mais amenas, possibilitando, em determinados trechos, o seu aproveitamento com pastagem ou reflorestamento. A maior parte da área, no entanto, não reúne condições de uso, ou estão restritas em função das fortes limitações impostas pela suscetibilidade à erosão hídrica, fertilidade, mecanização e deficiência hídrica (BOGNOLA *et al.*, 2002a; BOGNOLA *et al.*, 2002b; FASOLO *et al.*, 2002b).

Quando esses solos ocorrem em relevos aplainados, nos períodos mais chuvosos, aparecem temporariamente manchas de solo úmido, com evidências de oxirredução e, em muitos casos, surgem nascentes que permanecem durante todo o período chuvoso e desaparecem nos períodos secos (FASOLO *et al.*, 2002a).

Os Neossolos dessa região ocorrem sempre associados com solos de outras classes ou com Afloramentos de Rocha, e a erosão nesses solos é particularmente importante, pois perdas relativamente pequenas podem representar muito, considerando-se a espessura do perfil (FASOLO *et al.*, 2002a; CARVALHO *et al.*, 2002).

O Neossolo Litólico, que ocorre associado com solo pouco mais profundo (Cambissolo Háplico e Cambissolo Húmico), aparece em área de relevo forte ondulado a montanhoso. Por se apresentar com menos de 50 cm de espessura, possui baixa capacidade de retenção de água e de nutrientes e, por isso, há forte limitação ao uso agrícola.

O Neossolo Litólico associado com Afloramento de Rocha possui alto conteúdo de matéria orgânica nos primeiros 30 a 40 cm da superfície, baixa capacidade de retenção de água e de nutrientes e a suscetibilidade à erosão é considerada moderada a forte. A ocorrência de afloramentos rochosos reduz a possibilidade de uso de máquinas, chegando, em alguns trechos, a ser impróprio para agricultura e pecuária, devido o relevo ser bastante acidentado.

## 2.6 VEGETAÇÃO

Percebe-se que a vegetação característica da BHAP está atrelada ao clima, à latitude, à altitude e à natureza do solo. Conforme a Classificação da Vegetação Brasileira – CVB (IBGE, 1992), a vegetação existente nesta área, pode ser dividida em duas zonas fitoecológicas: a Floresta Ombrófila Mista (Aluvial, Montana e Altomontana) e a Estepe Gramíneo-lenhosa (Campo Natural).

A Floresta Ombrófila Mista é conhecida por várias denominações: Floresta com Araucária, Mata dos Pinhais, mata-de-araucária ou pinheiral (Figura 13).



FIGURA 13 – ASPECTO DA FLORESTA OMBRÓFILA MISTA EXISTENTE NA BHAP

NOTA: Vista frontal da floresta nativa. COORDENADAS: UTM – 607.271, 7.233.6409 e GEOGRÁFICA – 25°00'32" S, 49°56'13" W; COTA: 964 m; DATA: 03.10.2007.

Essa floresta caracteriza-se por ser resistente ao frio, sendo o ciclo vegetativo da maioria das espécies determinado, principalmente, pelas baixas temperaturas do inverno. As árvores são geralmente de médio porte, 20 a 30 m de altura, havendo, no entanto, locais com domínio de grande porte, de 30 a 50 m, e de grande diâmetro, como o pinheiro, que é uma das principais espécies e se destaca na floresta pelo porte majestoso. Essa floresta, em geral, apresenta três níveis ou estratos: o superior, constituído por araucária, imbuia, cedro, canela e outras espécies folhadas de grande porte; o médio, por podocarpus, pimenteira, guaramirim, erva-mate, caroba, bracatinga, guabiroba e outras; e o inferior, por ervas, arbustos e gramíneas, sendo grande a incidência de capim de cachorro, sapé, uvarana, fetos arbóreos e samambaias (BOGNOLA *et al.*, 2002a; FASOLO *et al.*, 2002b).

A floresta encontra-se, atualmente, quase que desaparecida pela intensa exploração de suas principais espécies, restando apenas remanescentes distribuídos pela área de estudo.

De acordo com as informações obtidas da Secretaria do Meio Ambiente e Recursos Hídricos do Paraná – SEMA/PR (SEMA, 2002), Instituto Brasileiro de Geografia e Estatística - IBGE (IBGE, 2004) e Instituto de Terras, Cartografia e Geociências - ITCG (ITCG, 2009), na área do estudo, a Floresta Ombrófila Mista apresenta três formações distintas (Figura 14):

- Aluvial – Ma (24,92 km<sup>2</sup>) são florestas situadas em terraços antigos ao longo dos flúvios. Essa formação ribeirinha ocupa sempre os terrenos aluviais, situados nos flúvios das serras costeiras, voltadas para o interior, ou dos planaltos dominados pela *Araucaria angustifolia*, associada a ecotipos que variam de acordo com as altitudes dos flúvios.
- Montana – Mm (116,24 km<sup>2</sup>) são florestas localizadas entre 400, até mais ou menos, 1.000 m de altitude. Essa formação é encontrada em algumas reservas particulares, sendo que, antigamente, ocupava quase que inteiramente o planalto acima de 500 m de altitude.
- Altomontana – MI (19,328 km<sup>2</sup>) são florestas situadas a mais de 1.000 m de altitude. Atualmente, essa floresta altomontana encontra-se, em alguns trechos, ainda, bem conservada e com elementos quase intactos, por ser de difícil acesso.



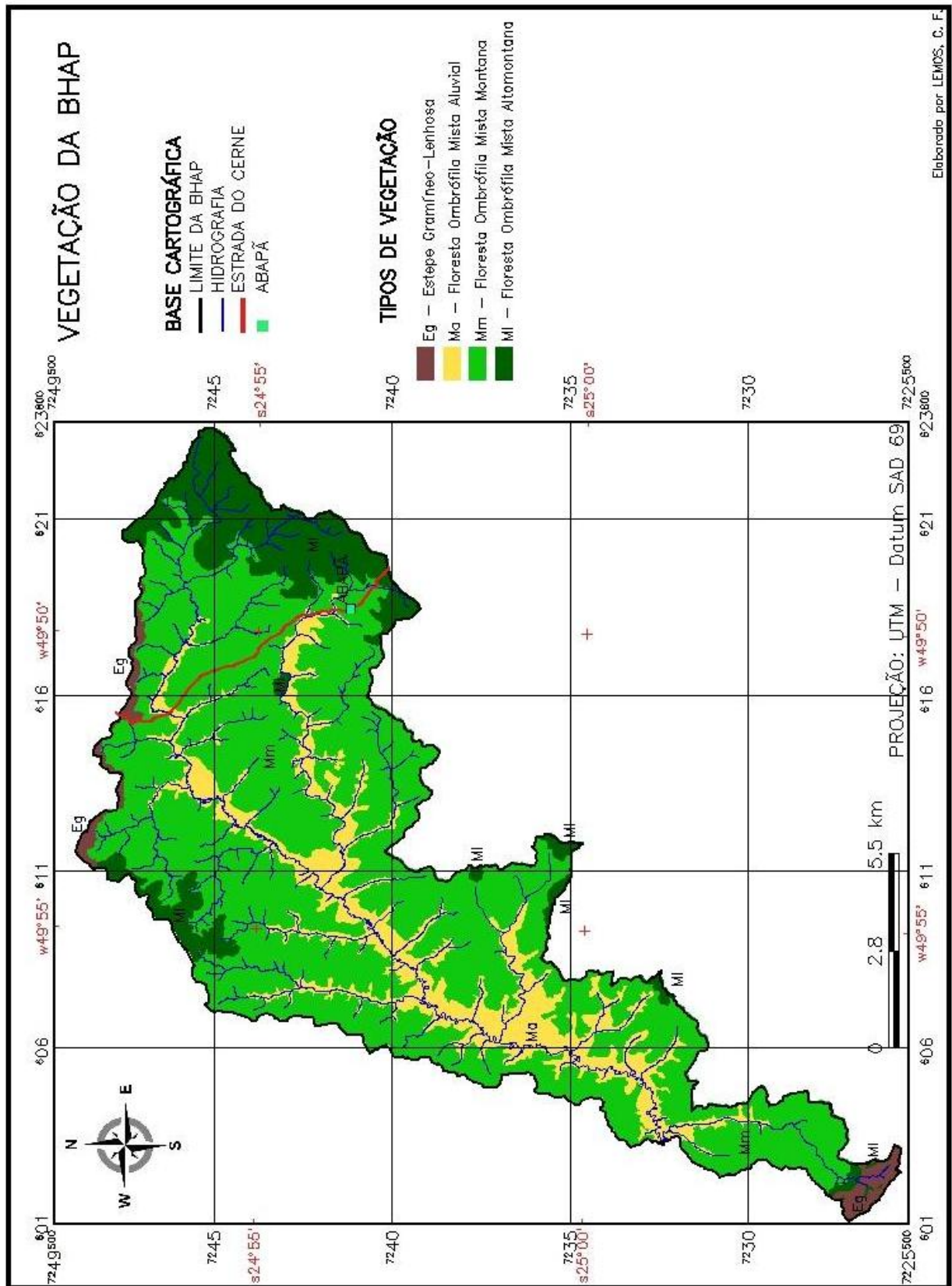


FIGURA 14 – MAPA DA VEGETAÇÃO NATIVA DA BHAP

FONTE: Adaptado de SEMA (2002), IBGE (2004) e ITCG (2009)



A Estepe Gramíneo-lenhosa – Eg (Campo Natural), com 3,044 km<sup>2</sup>, aparece em área de clima subtropical, onde as plantas são submetidas à dupla estacionalidade, uma provocada pelo frio e a outra pela seca, mais curta e com déficit hídrico. A característica desse estrato herbáceo é o de ser constituído por duas sinúcias graminóides: a dos hemicriptófitos e a dos geófitos, sendo que ambas apresentam pilosidade nas folhas e colmos, sugerindo que houve uma adaptação ao ambiente relativamente seco (IBGE, 1992).

As estepes de gramíneas lenhosas são formas de fragmento do antigo clima semiárido pleistocênico, sendo que as matas somente se desenvolveram quando o clima se manteve mais úmido, no término do Pleistoceno, a partir das matas de galeria, dos capões de nascentes e das matas de encostas das escarpas (MAACK, 1981).

Aparece constituído por associações de árvores e arbustos, com predomínio das leguminosas e ervas/gramíneas no estrato rasteiro. Normalmente, as árvores apresentam troncos e galhos tortuosos e duros, casca grossa e porosa, folhas coriáceas e sistema radicular bem desenvolvido. Entre as espécies mais comuns, encontram-se barbatimão, angico, carobinha do campo, peroba do campo, jerivá, lobeira, taquara, sapé, samambaia, capixingui, barba de bode e outros. Apesar de atualmente essas áreas estarem bastante antropizadas, observam-se as “florestas-de-galeria”, de porte baixo, rodeando algumas drenagens (FASOLO *et al.*, 2002b).

## 2.7 HIDROGRAFIA

O rio Pitangui é afluente da margem direita do rio Tibagi, sendo que o presente estudo engloba apenas a bacia formada pelo seu alto curso, ou seja, da nascente até sua foz, na represa de Alagados, cuja área de drenagem é de 163,537 km<sup>2</sup> e a extensão total do canal principal é de, aproximadamente, 49,00 km.

Nessa bacia, atualmente, identificou-se a existência de 3.495 canais de 1.<sup>a</sup> ordem, 827 de 2.<sup>a</sup>, 189 de 3.<sup>a</sup>, 39 de 4.<sup>a</sup>, 6 de 5.<sup>a</sup> e 2 de 6.<sup>a</sup> ordem, chegando ao lago como rio de 7.<sup>a</sup> ordem. Verificou-se, também, que há 251 cursos d'água com foz nesse trecho analisado do rio Pitangui. Entre eles, há os rios São Miguel e Bueno e os arroios das Gralhas, do Moinho, das Pedras, Butiá, Santa Rita, Serraria e São Sebastião (Figura 15).

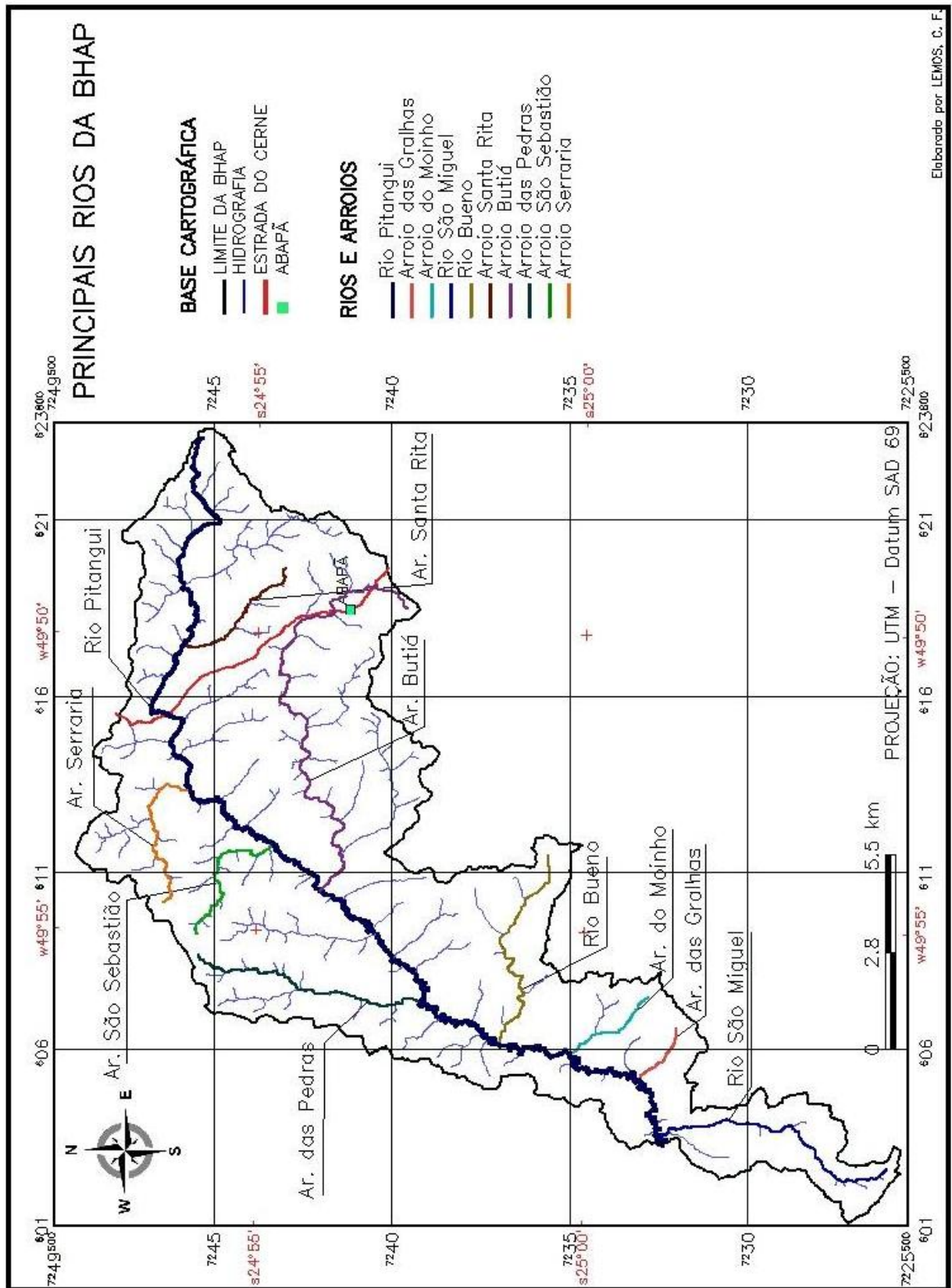


FIGURA 15 – MAPA COM OS PRINCIPAIS RIOS DA BHAP

A trajetória do rio Pitangui inicia-se no sentido SE-NW, na nascente, e segue com deflexões até atingir os limites da represa, resultando no predomínio do sentido NE-SW. Observa-se que a sua nascente, a direção de seu curso principal e de alguns afluentes são controlados por diques, falhas e fraturas de direção NW-SE que, provavelmente, estão relacionados ao Arco de Ponta Grossa (MINEROPAR, 2006b).

Para descrever as características do canal principal, dividiu-se o mesmo em dois trechos predominantes: o sentido E-W cujo canal é preponderantemente do tipo retilíneo encaixado, com vale em "V" e vertentes assimétricas; e o sentido NE-SW cujo predomínio do canal é tipo meândrico divagante, com curvas sinuosas, harmoniosas e semelhantes entre si, possuindo vertentes assimétricas e vale em "UV", característica de rio em estágio maduro (LIMA, 2002).

Os canais meandrantos são frequentemente encontrados nas áreas úmidas cobertas por vegetação ciliar e indicam um estado de estabilidade do canal com todas as variáveis hidrológicas, como a declividade, largura e profundidade do canal, velocidade dos fluxos, rugosidade do leito, carga sólida e vazão (CUNHA, 2001).

### FUNDAMENTAÇÃO TEÓRICA

#### 3.1 EQUAÇÃO UNIVERSAL DE PERDA DE SOLOS – EUPS

A formação dos solos ocorre por meio da decomposição e alteração dos substratos rochosos, devido à ação dos agentes intempéricos, físicos, químicos e biológicos, resultando numa camada superficial da crosta terrestre, constituída por horizontes de minerais e/ou matéria orgânica, com diferentes espessuras. Sobre esses solos age, sobretudo, a erosão, um dos principais fenômenos naturais de transformação do planeta.

Essa erosão é considerada, basicamente, como uma transferência de energia potencial para energia cinética, na qual ocorre pelo desequilíbrio do sistema água, solo e cobertura vegetal, que resulta numa perda progressiva de solo (MAFRA, 2005). São quatro as fontes principais de forças ativas, que provocam essa transferência de energia: a física (vento e água), a gravidade, a química (reações) e a antropogênica; sendo que a magnitude e a taxa de dissipação dessa energia, são determinantes para severidade dos processos erosivos (LAL, 2001).

A forma natural de diminuir a energia cinética é, portanto, a cobertura vegetal, fornecida abundantemente pela natureza e que age como defesa do terreno contra a erosão. Essa proteção envolve a atenuação do impacto direto das gotas de chuva sobre o solo; a dissipação e evaporação da água antes que atinja a superfície; o aumento da infiltração de água através dos canalículos no solo, formados com a decomposição de raízes; e melhora a resistência do solo à erosão, pela adição de matéria orgânica (BERTONI; LOMBARDI NETO, 2008).

Em síntese, a erosão hídrica é influenciada pela chuva (frequência, duração e intensidade da precipitação), vegetação (tipo e intensidade da cobertura vegetal), erodibilidade (comportamento do solo em função de suas propriedades físicas, químicas e biológicas, e intensidade e forma de manejo), relevo (declividade, comprimento e regularidade das encostas), e, principalmente, pela ação antrópica (OWOPUTI; STOLTE, 2001).

Dependendo do uso e da forma de ocupação dos ambientes naturais, poderá

ocorrer o aumento de perdas de solo, quando comparado com as que ocorrem em florestas naturais, que possuem menor taxa de erosão (WALKER, 2004). Oka-Fiori *et al.* (2004), Paranhos Filho *et al.* (2003) e Fiori *et al.* (2001), em estudos de avaliação multitemporal de perda de solos, no período de 1966 a 1996, em áreas pertencentes ao Pantanal, constataram que o acréscimo do valor médio da perda de solos foram causados, principalmente, pelos desmatamentos dessa região. Verificaram, ainda, que mesmo com a recuperação de algumas áreas, as perdas de solo continuaram a aumentar, porém em ritmo menor, depois que foram implementadas técnicas de controle da erosão. Ou seja, uma vez instalado o processo de erosão, o mesmo acelera-se, evidenciando a dificuldade no seu controle e disciplinamento.

Portanto, a perda de solos é um problema bastante atual, que vem crescendo com o aumento das atividades antrópicas e, apesar de novas práticas conservacionistas existentes, os danos provocados pela erosão ainda persistem. Pois, no ano de 1949, o Brasil perdia por erosão laminar cerca de 500 milhões de t.ano<sup>-1</sup> de solo (MARQUES, 1949); em 1992, as perdas anuais eram de 600 milhões de t.ano<sup>-1</sup> (BAHIA *et al.*, 1992); e em 2007, a perda de solo chegava a quase um bilhão de t.ano<sup>-1</sup> (EMBRAPA, 2007).

Novas tecnologias e ferramentas estão surgindo, como modernos satélites que fornecem imagens de alta resolução; na área de informática, com a criação de máquinas mais capacitadas e velozes, que auxiliam e permitem utilizar recursos de cálculos e programações mais precisos; com instalações de equipamentos modernos nas estações meteorológicas, que acrescentam informações à rede de banco de dados pluviométricos, quase que em tempo real; e recentes trabalhos, que detalham e caracterizam os vários tipos de solos existentes, permitindo, assim, realizar estudos minuciosos sobre a erosão e minorar os prejuízos gerados.

Segundo Chaves *et al.* (1995), a avaliação da perda de solo pode ser feita de duas maneiras: qualitativamente, com a facilidade na manipulação e combinação das variáveis para a obtenção do grau de severidade erosiva, mas que não possibilita a obtenção de valores numéricos para estimar a degradação do solo; e quantitativamente, que permite a estimativa da erosão absoluta e facilita o planejamento conservacionista, porém, os modelos utilizados exigem um conhecimento maior da área, por parte do usuário.

Até o início do século 20, o entendimento dos processos erosivos limitava-se

apenas à descrição qualitativa dos seus principais fatores (erodibilidade do solo, erosividade da chuva e proteção da cobertura vegetal). No período de 1940 a 1954, muitos trabalhos experimentais foram realizados, sob a direção de Walter H. Wischmeier, com o objetivo de desenvolver uma equação, para prever a ação da erosão, que fosse compatível com os mais de 11.000 dados coletados em 47 localidades, em 24 estados nos Estados Unidos, para as mais diversas condições de chuva e solos. Em 1958, foi publicada a primeira versão da equação de perda de solo, pelo *United States Department of Agriculture* – USDA. Nos anos seguintes, essa equação foi avaliada e melhorada, sendo incluídos os efeitos da geometria da rampa, das práticas conservacionistas e dos fatores de uso e manejo do solo, resultando na *Universal Soil Loss Equation* – USLE (USDA, 2008).

A USLE foi elaborada por Wischmeier e Smith (1978) e possibilita determinar a perda média anual de solo, de forma satisfatória quanto a confiabilidade dos resultados encontrados, por meio do produto de seis variáveis expressas numericamente (Equação 1). Essa equação é internacionalmente consagrada, em razão da facilidade e simplicidade de aplicação e por ser um dos modelos mais utilizados no auxílio de trabalhos de gestão ambiental (FARINASSO *et al.*, 2006).

$$PS = R \times K \times LS \times C \times P \quad \text{Equação 1}$$

Onde:

PS = perda anual de solo ( $t.ha^{-1}.ano^{-1}$ );

R = fator erosividade da chuva ( $MJ.ha^{-1}.mm.h^{-1}.ano^{-1}$ ), que depende da energia potencial e intensidade da chuva;

K = fator erodibilidade do solo ( $t.ha^{-1}.h.mm^{-1}.ha.MJ^{-1}$ ), que é influenciado pelas características intrínsecas do solo;

LS = fator topográfico (adimensional), comprimento (L) e a declividade (S);

C = fator de uso do solo (adimensional) é afetado pelo recobrimento superficial e pela cobertura vegetal;

P = fator de práticas conservacionistas e manejo do solo (adimensional) e sofre interferência da forma de rotação das culturas, pelo tipo de proteção do solo, barreiras, terraços e técnicas de proteção do solo.

No Brasil, a equação é conhecida como Equação Universal de Perda de Solo – EUPS e é amplamente utilizada, até os dias atuais, como instrumento para estimar a ação da erosão e, assim, possibilitar o planejamento ambiental em bacias hidrográficas (BERTONI; LOMBARDI NETO, 2008).

O nível da erosão, por meio quantitativo das perdas anuais de solo, pode ser classificado conforme *Food and Agriculture Organization* – FAO (1967) (Tabela 2).

TABELA 2 – NÍVEL DA EROSÃO EM RAZÃO DOS LIMITES DE PERDAS ANUAIS DE SOLO

NÍVEL DA EROSÃO	PERDA DE SOLO (t.ha <sup>-1</sup> .ano <sup>-1</sup> )
Nenhuma ou ligeira	< 10
Moderada	10 – 50
Alta	50 – 200
Muito alta	> 200

Na EUPS a perda de solo é diretamente proporcional à grandeza de cada fator. A descrição e o processo de obtenção de seus fatores serão relatados na sequência.

### 3.1.1 Fator Erosividade da Chuva – R

O potencial erosivo da chuva está relacionado com a energia originada pelo impacto das gotas e escoamento superficial da água e com a intensidade da chuva (volume da queda d'água por unidade de tempo). Quanto maior a intensidade, maior o potencial para desagregação e transporte de sedimentos. As precipitações leves, durante curtos períodos, após grande intervalo sem chuva, possuem baixo potencial erosivo, porém, quando combinadas com outros parâmetros (solos desnudos e com características físicas que contribuem para erosão), podem, também, provocar perda de solos (PEREIRA, 2006).

A erosividade é um índice numérico que expressa a capacidade da chuva de provocar erosão em solo exposto, logo, está relacionada com o produto da energia cinética da chuva e sua intensidade máxima em 30 minutos (BERTONI; LOMBARDI NETO, 2008).

A determinação de um valor médio do índice de erosividade, para as condições brasileiras, pode ser obtida segundo o método apresentado por Lombardi Neto; Moldenhauer (1992), por meio da relação entre a média mensal e a média

anual de precipitação, e conforme Bertoni; Lombardi Neto (2008) (Equação 2).

$$EI_{30} = 67,355 \times \left( \frac{p^2}{P} \right)^{0,85} \quad \text{Equação 2}$$

Onde:

$EI_{30}$  = média mensal do índice de erosividade ( $MJ.ha^{-1}.mm.h^{-1}.mês^{-1}$ );

$p$  = média do total mensal de precipitação (mm);

$P$  = média do total anual de precipitação ( $mm.ano^{-1}$ ).

Para o fator R, correspondente a um ano, é preciso somar os resultados dos valores do índice de erosividade, para cada uma das chuvas mensais registradas, durante o período a ser estudado (Equação 3). Para que esse valor de R seja representativo e confiável, é necessário calcular um ciclo de pelo menos 10 anos (PEREIRA, 2006).

$$R = \sum_{j=1}^{12} EI_{30j} \quad \text{Equação 3}$$

Chueh (2004) quantifica o potencial erosivo da chuva, de acordo com os valores obtidos da erosividade (Tabela 3).

TABELA 3 – CLASSIFICAÇÃO DA EROSIVIDADE MÉDIA ANUAL (R)

CLASSIFICAÇÃO	R ( $MJ.ha^{-1}.mm.h^{-1}.ano^{-1}$ )
1 – Muito Baixa	$R < 2.500$
2 – Baixa	$2.500 < R < 5.000$
3 – Média	$5.000 < R < 7.500$
4 – Alta	$7.500 < R < 10.000$
5 – Muito Alta	$R > 10.000$

FONTE: Adaptado de Chueh (2004)

### 3.1.2 Fator Erodibilidade do Solo – K

Este fator indica a susceptibilidade do solo à erosão e está relacionado com as propriedades que afetam a capacidade de retenção de água no perfil e as que



resistem às forças de desagregação e transporte de sedimentos pelo escoamento. Verifica-se que erodibilidade aumenta com a presença de partículas desagregáveis (silte e areia muito fina), pois são facilmente desprendidas, transportadas e contribuem para formação de crostas. Já a matéria orgânica no solo contribui para maior resistência à erosão, pois ajuda manter as partículas unidas (dificulta a desagregação), aumenta a capacidade de retenção de água, influencia na infiltração e, conseqüentemente, diminui o volume do escoamento superficial (PEREIRA, 2006).

Logo, a resistência do solo à erosão é influenciada por suas propriedades intrínsecas, como a textura, estrutura, densidade, permeabilidade, características mineralógicas e químicas e teor de matéria orgânica. A textura implica na coesão entre as partículas do solo; a estrutura na capacidade de destacamento e arraste; a densidade indica o estado de compactação do solo; a permeabilidade determina a capacidade de infiltração das águas da chuva; as características mineralógicas e químicas interferem no estado de agregação; e a matéria orgânica permite maior poder de retenção de água e, com isso, altera o potencial das enxurradas (SALOMÃO, 2005). Além disso, essas propriedades se relacionam entre si, como por exemplo, a estrutura (disposição espacial das partículas no solo) que interfere no direcionamento e na velocidade de infiltração da água (FIORI, 1995).

Wischmeier e Smith (1978) propõem, para a determinação da erodibilidade do solo, um nomograma baseado na porcentagem de areia, silte, areia muito fina e matéria orgânica, e na estrutura e permeabilidade do solo (Equação 4 e Equação 5).

$$100 \times K = 2,1 \cdot 10^{-4} \times M^{1,14} \times (12 - a)\% + 3,25 \times (b - 2)\% + 2,5 \times (c - 3)\% \quad \text{Equação 4}$$

$$M = [100 - \% \text{Argila}] \times [(\text{Silte} + \text{Areia}_{\text{Fina}})\%] \quad \text{Equação 5}$$

Onde:

K = fator erodibilidade, multiplica-se por 0,1313 ( $\text{t.ha}^{-1} \cdot \text{h.mm}^{-1} \cdot \text{ha.MJ}^{-1}$ );

a = percentual de matéria orgânica no solo;

b = estrutura do solo, adotando os seguintes valores:

1 = grãos muito finos ( $\emptyset < 1 \text{ mm}$ );

2 = grãos finos ( $1 \text{ mm} < \emptyset < 2 \text{ mm}$ );

3 = grãos médios ( $2 \text{ mm} < \varnothing < 10 \text{ mm}$ );

4 = grãos grosseiros ( $\varnothing > 10 \text{ mm}$ ).

c = permeabilidade do solo, conforme a seguinte classificação:

1 = muito rápida ( $> 250 \text{ mm.h}^{-1}$ );

2 = moderadamente rápida (130 a  $250 \text{ mm.h}^{-1}$ );

3 = moderada (65 a  $130 \text{ mm.h}^{-1}$ );

4 = moderadamente lenta (20 a  $65 \text{ mm.h}^{-1}$ );

5 = lenta (5 a  $20 \text{ mm.h}^{-1}$ );

6 = muito lenta ( $< 5 \text{ mm.h}^{-1}$ ).

A erodibilidade obtida por esse método está na unidade do Sistema Inglês ( $\text{ton.acre.h.acre}^{-1}.\text{ft-ton.in}^{-1}$ ) e, para ser convertido para o Sistema Internacional – SI deve-se multiplicar por 0,1313 (WISCHMEIER; SMITH, 1978).

A utilização direta do nomograma não é recomendada em solos brasileiros, por resultar valores de K superestimados para solos tropicais (LARIOS, 2008).

Denardin (1990) baseou-se em erodibilidades medidas em diferentes solos, em mais de 30 localidades no Brasil, e propôs a seguinte equação (Equação 6):

$$K = 6,08 \cdot 10^{-3} \times P + 8,34 \cdot 10^{-3} \times MO - 1,16 \cdot 10^{-3} \times OAI - 3,78 \cdot 10^{-4} \times AR \quad \text{Equação 6}$$

Onde:

K = é expresso em  $\text{t.ha}^{-1}.\text{h.mm}^{-1}.\text{ha.MJ}^{-1}$ ;

P = permeabilidade do solo em  $\text{cm.h}^{-1}$ ;

MO = teor de matéria orgânica em %;

OAI = teor de óxido de alumínio em %, extraído por ácido sulfúrico;

AR = % de partículas com diâmetro entre 2 e 0,5 mm.

Carvalho (2008) divide os valores de K em classes de interpretação, conforme descritos na Tabela 4.

TABELA 4 – CLASSIFICAÇÃO DA ERODIBILIDADE (K)

INTERVALOS DE VALORES DE K (t.ha <sup>-1</sup> . h.mm <sup>-1</sup> . ha.MJ <sup>-1</sup> )	CLASSES DE INTERPRETAÇÃO
K ≤ 0,015	Erodibilidade baixa
0,015 < K ≤ 0,030	Erodibilidade média
K > 0,030	Erodibilidade alta

FONTE: Adaptado de Carvalho (2008)

### 3.1.3 Fator Topográfico – LS

A topografia do relevo e o perfil da vertente (côncava ou convexa) afetam diretamente o desprendimento de partículas e o transporte de sedimentos (PEREIRA, 2006). O fator topográfico representa a relação de perdas de solo entre um determinado comprimento (L) e declividade da rampa (S), em condições de campo; com o comprimento de encosta de 25 m e declive de 9%, para o mesmo solo, mantidas idênticas as demais condições (BERTONI; LOMBARDI NETO, 2008).

Esse parâmetro pode ser calculado segundo a equação proposta por Wischmeier e Smith (1978), com modificação devido a conversão nas unidades das variáveis utilizadas (Equação 7).

$$LS = \left(\frac{\lambda}{22,13}\right)^m \times (0,00654 \cdot s^2 + 0,0456 \cdot s + 0,065) \quad \text{Equação 7}$$

Onde:

22,13 = é o valor do comprimento da parcela-padrão;

LS = fator topográfico;

$\lambda$  = comprimento da vertente (m);

s = declividade da vertente (%);

m = dependente da declividade das vertentes, conforme:

m = 0,2 se a declividade for < 1%;

m = 0,3 se 1% < declividade < 3%;

m = 0,4 se 3% < declividade < 5%;

m = 0,5 se a declividade for > 5%.

Na quantificação do processo erosivo, pelo emprego da EUPS, as perdas de solos são superestimadas, por considerar o fator LS na sua totalidade, ou seja, o comprimento de rampa do divisor de água até o rio. Na verdade, esse é fragmentado pela presença de florestas ou por práticas conservacionistas que alteram a dinâmica da água (TOMAZONI; GUIMARÃES, 2005; TOMAZONI *et al.*, 2005).

Visto que o comprimento é definido como a distância que vai desde a origem do escoamento superficial até o início da deposição de sedimentos, a Equação 7 é aplicável apenas no caso de rampas com declividade uniforme e com o mesmo tipo de solo e vegetação em todo o seu comprimento. Isso porque a velocidade de escoamento aumenta com o acréscimo da inclinação e comprimento da vertente e a capacidade de transporte das partículas de solo aumenta para taludes convexos e diminui para vertentes côncavas, à medida que se distancia do topo. Portanto, a forma da vertente influencia o potencial da erosão (PEREIRA, 2006).

O cálculo do fator LS, para as condições-padrão, é baseado nas fórmulas apresentadas por Bertoni (1959), que foram unidas e transformada na Equação 8 (BERTONI; LOMBARDI NETO, 2008).

$$LS = 0,00984 \times C^{0,63} \times D^{1,18} \quad \text{Equação 8}$$

Onde:

C = comprimento da rampa (m);

D = grau de declive (%).

Fornelos e Neves (2007) classificam o fator LS conforme a tabela abaixo (Tabela 5):

TABELA 5 – CLASSIFICAÇÃO DO FATOR LS

CLASSIFICAÇÃO	FATOR LS
Muito Baixo	LS < 1
Baixo	1,1 a 2,0
Moderado	2,1 a 5,0
Moderadamente forte	5,1 a 10
Forte	10,1 a 50
Muito forte	LS > 50

FONTE: Adaptado de Fornelos e Neves (2007)

### 3.1.4 Fator de Uso e Ocupação do Solo – C

O fator C refere-se ao uso do solo e representa um fator de redução da erosão do solo, pois é um índice numérico que indica a relação esperada entre as perdas de solo de uma gleba qualquer, cultivada em determinada condição, e as de uma parcela mantida continuamente descoberta (WISCHMEIER; SMITH, 1978).

Porém, essa redução depende de combinações entre a cobertura vegetal e a superfície do terreno (espécie, altura e densidade da vegetação); das fases do desenvolvimento de cada cultura (do preparo do solo até o plantio, do 1.º e do 2.º mês após o plantio, do final do 2.º mês até a colheita e da colheita até o preparo do solo) e das práticas de manejo (BERTONI; LOMBARDI NETO, 2008).

A cobertura do solo é um fator importante para a proteção deste e para a atenuação das perdas. O fator C é determinado em razão do tipo de cobertura e da média anual das fases de desenvolvimento da vegetação (Tabela 6).

TABELA 6 – FATOR “C” PARA ALGUNS TIPOS DE COBERTURA DO SOLO

TIPO DE COBERTURA DO SOLO	FATOR C <sub>1</sub> *	FATOR C <sub>2</sub> **
Sem cobertura/solo desnudo	1,000	1,000
Culturas agrícolas	0,250	0,256
Pastagem e campos	0,010	0,029
Vegetação Secundária – Arbustos	0,005	0,012
Reflorestamento	0,003	0,012
Vegetação Primária – Floresta	0,001	0,001
Área Inundável	----	0,005

FONTE: \* Walker (2004); \*\* Adaptado de Costa *et al.* (2005)

Apresenta-se, a seguir, algumas considerações, descritas por Pereira (2006), que afetam o fator C:

- A cobertura vegetal contribui para atenuar a taxa de erosão, pois as folhas e galhos, acima da superfície, interceptam as gotas de chuva antes que atinjam o solo, diminuindo as forças erosivas dessas gotas. Porém, isso não significa que tenha total eficiência, porque pode ocorrer que o solo esteja desprotegido e, neste caso, haverá desprendimento e carreamento de sedimentos, permitindo a perda de solo.
- A cobertura de superfície inclui os resíduos de produções anteriores e atuais (serrapilheiras), vegetação presente, fragmentos de rochas, musgo,

liquens e outros, na superfície do solo, que interceptam as gotas ao nível do chão. Quanto maior a proporção da área de superfície coberta, maior o controle de erosão, pois retém a água de subsuperfície e de superfície, por meio dos canais criados pelas raízes, e reduz a capacidade de desagregação e transporte das partículas. Contudo, a efetividade diminui à medida que os resíduos vegetais se decompõem.

- O tipo, o tempo e a frequência de operações, para a produção agrícola, afetam as propriedades físicas do solo, como: porosidade, estrutura, compactação, encrostamento da superfície e microfauna do solo. A execução de práticas agrícolas em excesso, especialmente em condições úmidas, compacta o solo e diminui a infiltração de água.

### 3.1.5 Fator de Práticas Conservacionistas – P

O fator P é a relação entre a intensidade esperada de perda de solo com determinada prática conservacionista e aquela que ocorre quando a cultura é plantada no sentido do declive (BERTONI; LOMBARDI NETO, 2008).

Muitas variáveis independentes de práticas de cultivo e proteção do solo já estão incluídas no fator P. As práticas normais e essenciais nos trabalhos agrícolas, como rotação de culturas, preparo do solo e fertilizações são consideradas obrigatórias. Já o plantio em curvas de nível, terraços ou outras técnicas de conservação do solo, contribuem para somar na redução da capacidade erosiva do escoamento superficial e, conseqüentemente, na proteção do solo, pois as culturas, em sua maioria, são plantadas em épocas de maior precipitação (PEREIRA, 2006).

Assim sendo, o fator P só é aplicado em áreas cuja cobertura seja de cultivo, ou seja, este fator é um ponderador do fator C em situações especiais de uso e manejo do solo. Por estarem inter-relacionados, esses fatores não podem ser analisados individualmente (PARANHOS FILHO *et al.*, 2003).

Bertoni e Lombardi Neto (2008) sugerem os seguintes valores de P para práticas conservacionistas (Tabela 7):

TABELA 7 – FATOR “P” PARA ALGUMAS PRÁTICAS CONSERVACIONISTAS

PRÁTICAS CONSERVACIONISTAS	VALOR DE P
Plantio morro abaixo ou áreas expostas	1,0
Plantio em contorno / Terraços	0,5
Vegetação permanente	0,2

FONTE: Adaptado de Bertoni e Lombardi Neto (2008)

Para facilitar a visualização e a compreensão das tendências das áreas em relação à erosão, é possível calcular a “Razão de Erosão” (RE), a qual representa a diferença entre o ano em análise e o ano inicial, dividida pelo ano inicial. Os resultados iguais a zero significam que não houve alterações na taxa de erosão da área em questão; os valores positivos indicam aumento e os negativos indicam diminuição dessa taxa (PARANHOS FILHO *et al.*, 2003).

### 3.2 EROSÃO CONCENTRADA

A erosão hídrica é um dos processos naturais existentes na superfície terrestre, que atua na modificação e suavização do relevo, e pode ocorrer de três formas: erosão por *splash* ou salpicamento, erosão laminar ou entre-sulcos e erosão linear ou concentrada. (MINEROPAR, 1998; GUERRA, 2005).

A erosão por *splash*, ou salpicamento, é provocada pela ação das gotas de chuva que, ao tocarem a superfície, desprendem as partículas de solo que são expelidas a certa distância. Essas partículas preenchem os poros da superfície do solo, propiciando a selagem, a diminuição da porosidade e o aumento do escoamento superficial das águas (Figura 16). Portanto, a erosão pelo impacto da gota da chuva é responsável por quatro efeitos: desagregação das partículas do solo; pequeno deslocamento lateral; saltação de partículas juntamente com as gotas de chuva (*splash*) e espalhamento das partículas (SELBY, 1993).

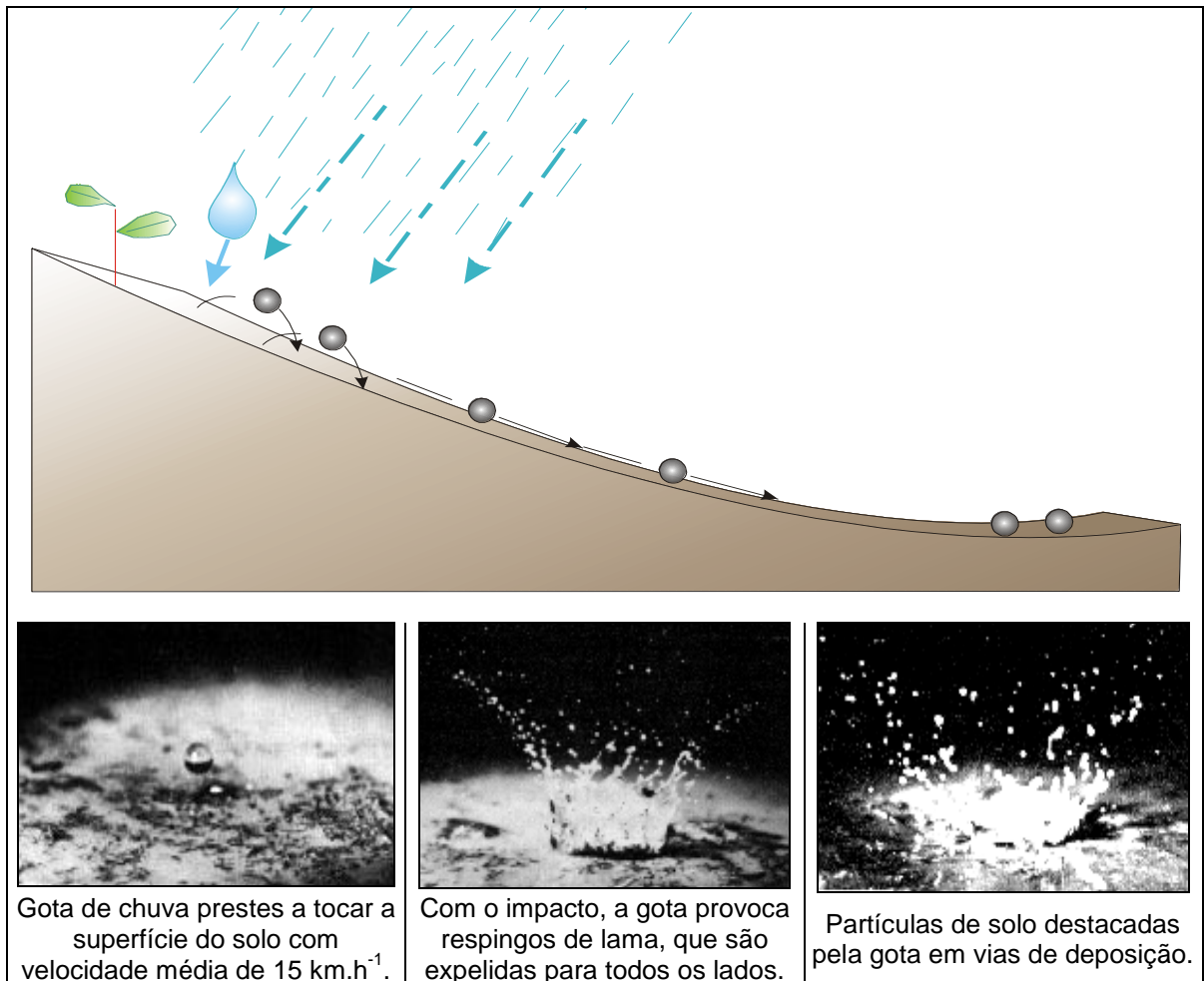


FIGURA 16 – ETAPAS DO PROCESSO DE EROÇÃO CAUSADA PELO IMPACTO DA GOTA

FONTE: Adaptado de Leinz e Amaral (1985)

A partir da precipitação pluviométrica e do impacto da gota de chuva, existem dois fenômenos principais que interferem no processo da erosão: a infiltração e o escoamento superficial (SILVA, 2003). Porém, na sequência de um evento de chuva, a infiltração diminui, pois há um aumento gradativo na umidade do solo, até que ele não consiga mais absorver água e, com isso, aumenta gradativamente a taxa de escoamento superficial, dando início à erosão laminar e, posteriormente, erosão linear (BERTOL *et al.*, 2001).

A erosão laminar, ou entre-sulcos, é a remoção da fina camada superficial do solo, de maneira quase uniforme, através de uma lâmina de água homogênea, que arrasta as partículas previamente desagregadas, no sentido da declividade do terreno (BERTONI; LOMBARDI NETO, 2008).

A erosão linear, ou concentrada, é provocada pelo escoamento convergente da água sobre a superfície do terreno. Essas lâminas concentradas provocam o



transporte das partículas do solo, gerando pequenos filetes, que são intensificados a cada chuva, evoluindo para sulcos (pequenas cavidades), depois ravinas, formadas por fluxos superficiais concentrados nas encostas e, por último, surgem as voçorocas, causadas por fluxos subsuperficiais e por seus mecanismos erosivos como solapamento da base e desmoronamento do talude, quando alcançado o lençol freático (FONSECA, 2006).

Percebe-se que em terras agrícolas, as ravinas diferem de um ano para outro porque as práticas agrícolas podem interromper seu desenvolvimento por meio das gradagens e, com as chuvas, novas ravinas poderão se formar (RAMIDAN, 2003). E há, ainda, a problemática das áreas de pastagem, devido à ocorrência de feições erosivas, provocadas pelo gado, que tende a criar caminhos preferenciais para a sua locomoção, gerando canais de escoamento concentrado da água de chuva (CERRI *et al.*, 1997; SILVEIRA, 2002).

A morfologia das erosões concentradas é consequência de sua origem ou dos processos atuantes nas cabeceiras, como o efeito de cascata devido o grande volume de água que flui para os canais, provocados pelas chuvas intensas ou, ainda, de antigos processos desativados. As erosões concentradas podem ser classificadas em dois tipos de formas: a) grosseiramente circular: caracterizada por processos de erosão interna, solapamento e queda de blocos, indicando locais com erosão interna atuante; b) dendrítica: com ravinas partindo do corpo principal que se desenvolve na forma de dedos, caracterizado pela ação das águas superficiais (SOBREIRA, 2000).

Desde o surgimento até a estabilização das erosões concentradas, pode-se dizer que a mesma passa por quatro estágios: a formação de filetes, pelo fluxo superficial das águas pluviais; o aprofundamento desses filetes; o alargamento e o encontro com o nível de base da erosão, formando fundo plano, onde podem aparecer fontes de água, evidenciando a contribuição do fluxo subterrâneo para o processo erosivo; e a estabilização, com o abrandamento dos taludes e o aparecimento de vegetação (MACIEL FILHO, 1994).

Logo, as feições erosivas lineares, do tipo voçorocas, são originadas a partir da concentração de fluxo de águas pluviais e sua evolução pode não estar relacionada apenas ao tipo de material geológico presente ou a fatores climáticos, mas, também, por ações antrópicas (divisores de propriedades, valas escavadas ou alinhamento de árvores, estradas vicinais abandonadas e outros) (SILVA, 2003).

### 3.3 PARÂMETROS MORFOMÉTRICOS DA REDE HIDROGRÁFICA

A bacia hidrográfica é considerada como referencial geográfico se utilizada como unidade de estudos ambientais, devido à importância da água para sociedade moderna e por integrar qualquer área de terreno, por menor que seja. A expressão “bacia hidrográfica” pode ser usada para grande ou pequena área, bastando somente localizá-la no espaço (PROCHNOW, 1990).

Na bacia hidrográfica é possível identificar e estudar as inter-relações existentes entre os diversos elementos da paisagem e os processos que atuam na sua esculturação, por ser considerada como unidade natural de análise da superfície terrestre (RIBEIRO, 2002).

Collares (2000) realizou um estudo comparativo das mudanças ocorridas na composição, forma ou quantidade de canais de microbacias hidrográficas, no intervalo de 23 anos, e concluiu que a rede de drenagem pode ser utilizada como um geoindicador de alterações ocorridas por processos naturais ou por atividades antrópicas recentes.

O sistema de rede de drenagem configurou-se como um adequado indicador das alterações ambientais, por meio da análise morfométrica. A diminuição do número de canais de primeira ordem (dimensões < 150 m) e a variação do comprimento total dos canais influenciaram os parâmetros de densidade de drenagem e de densidade hidrográfica. Essas alterações foram condicionadas pela expansão urbana e pelo intensivo cultivo, e estão relacionadas às diferentes classes de declividade, aos diversos tipos de relevo, ao substrato rochoso e ao material inconsolidado (RIBEIRO, 2002).

As bacias de terceira ordem são melhores estruturadas e estáveis em relação aos canais de segunda e de primeira ordem e, dessa forma, fornecem dados mais representativos para fins de comparação temporal (SILVA, 2000). Por isso, as análises morfométricas da rede de drenagem devem ser realizadas, principalmente, em bacias hidrográficas de terceira ordem (POLITANO *et al.*, 1995; CANALI; OKAFIORI, 1998).

As propriedades de drenagem são elementos que analisam os padrões dos cursos d'água superficial, com o objetivo de identificar os parâmetros físicos do terreno (SOARES; FIORI, 1976). Ou seja, as características particulares no traçado da rede de drenagem, em uma bacia hidrográfica, estão relacionadas à litotipia do

terreno, a presença de eventos tectônicos, a forma de relevo, aos tipos de solo, cobertura vegetal e, também, a decisiva influência do clima (LIMA, 2002).

Por isso, é importante o estudo da drenagem em bacias hidrográficas para conhecer sua distribuição espacial, que pode ser modificada ao longo do tempo, e entender a origem dessa modificação (LIMA; GANDOLFI, 2000).

Sobreira (2000) relata que as feições geológicas (tipos de rochas e estrutura) e os processos superficiais (intemperismo e erosão) são os principais fatores atuantes no desenvolvimento de canais de drenagem.

Para a realização do estudo da rede de drenagem é necessário identificar, na bacia hidrográfica, os conjuntos de feições idênticas e distintas, com forma e limite definidos (espaçamento dos interflúvios) (SOARES; FIORI, 1976).

Conforme Lima (2002), as principais propriedades que devem ser analisadas na bacia hidrográfica são as seguintes:

- Grau de Integração –  $G_i$ : é o padrão consistente dos ramos da drenagem, cujo traçado deve ser o mais simples possível. No caso, se a drenagem apresentar sinuosidade desnecessária, tal característica implicará em baixo grau de integração. Fornece informações indiretas sobre: permeabilidade; porosidade; topografia; coesão; massividade; heterogeneidade; grau de dissolução das rochas e erodibilidade. Na caracterização do grau de integração de um determinado padrão de drenagem são utilizados os seguintes critérios: alto, quando houver integração de mais de 75% da drenagem; médio, quando existir a integração de aproximadamente 50 a 75% da drenagem; e baixo, quando a integração for inferior a 50% da drenagem.
- Densidade de Drenagem –  $D_D$ : é o índice que indica a densidade de drenagem de uma determinada área e pode ser determinada por meio de dois procedimentos: pela somatória do comprimento de seus canais, dividida pela área da bacia ou sub-bacia em estudo, podendo ser classificada em baixa quando o valor for  $< 0,5 \text{ km.km}^{-2}$ , mediana entre 0,5 e  $2,0 \text{ km.km}^{-2}$ , alta entre 2,0 e  $3,5 \text{ km.km}^{-2}$  e muito alta para valores  $> 3,5 \text{ km.km}^{-2}$  (BELTRAME, 1994); ou por meio da estimativa da distância média do interflúvio, entre as drenagens de maior ordem, sendo baixa quando a distância média do interflúvio situar-se entre 1,75 e 2,5 km; média quando

disposta entre 1 e 1,75 km; e alta quando menor que 1 km. Para esse cálculo, deve-se realizar uma média de 5 medidas. Por meio desta propriedade podem ser obtidas informações sobre a ocorrência de terrenos porosos (baixa densidade) ou impermeáveis (alta densidade), além de indicações referentes à pluviometria da região.

- Densidade de Canais –  $D_C$ : é a relação entre o número de canais e a área da bacia. Tal propriedade dá indicação de permeabilidade, porosidade e solubilidade.
- Tropia –  $T$ : é a orientação preferencial que compõe um determinado padrão de drenagem e pode indicar a existência de um fator estrutural controlando esse padrão. Desse modo, pode-se afirmar que o grau de controle é alto para tropia unidirecional; médio, caso haja duas orientações preferenciais (bidirecional); fraco quando for tridirecional ou multidirecional desordenada; e quando for multidirecional ordenada indica presença de estruturas circulares.
- Sinuosidade –  $S$ : refere-se aos segmentos curvos delineados pela drenagem, diferente de meandros, e pode ser curvos, mistos e retilíneos. A presença de sinuosidade abrupta mostra que o terreno possui uma anomalia, devido um controle estrutural ou litológico.
- Retilinearidade –  $R$ : é quanto a drenagem mostra orientação retilínea. Será alta quando a retilinearidade for maior ou igual a 50% do comprimento total; média quando for entre 25 e 50% e baixa quando menor de 25%.
- Ângulo de Junção –  $A_J$ : está relacionado com o controle estrutural da drenagem de uma bacia hidrográfica, merecendo ser observado o ângulo que os ramos secundários fazem com a drenagem principal. Os ângulos agudos indicam ausência de controle, enquanto que os retos mostram a presença de forte controle estrutural e o obtuso denuncia a inversão no caimento da drenagem, ligado a efeitos de neotectônica.
- Angularidade –  $A_n$ : refere-se às mudanças bruscas na direção da drenagem. É considerada alta quando há uma mudança brusca da drenagem, o que deve indicar a influência de fatores estruturais; e baixa quando a mudança é pouco marcante, ou seja, suave e gradual.
- Assimetria –  $A_s$ : é um parâmetro que indica o caimento do terreno, e/ou

estruturas planares primárias ou secundárias. Para sua identificação é necessário avaliar o comprimento dos afluentes em relação ao rio principal e seu divisor. De uma maneira geral, a assimetria forte é marcada pela presença de afluentes bem curtos, ao passo que os afluentes longos indicam fraco caimento. Geralmente uma assimetria relaciona-se à presença de blocos basculados, cujo limite é demarcado por uma drenagem retilínea. No caso se apresentar sob a forma de extensos terraços ligados à vasta planície de inundação, com drenagem meandrante, pode denotar várias fases de basculamento. Deve-se, ainda, observar os diferentes comprimentos dos afluentes em uma determinada região, em que uns são muito extensos em contraposição a outros bem curtos, indicando distintas assimetrias.

Silva (2000), Collares (2000), Lima e Gandolfi (2000) e Ribeiro (2002) verificaram as características geotécnicas da região com base nos elementos da bacia hidrográfica e, por isso, avaliaram os seguintes parâmetros morfométricos:

- Índice de Forma -  $I_F$  indica a forma da bacia, sendo irregular quando o valor é próximo a zero e regular quando próximo a um (Equação 9):

$$I_F = \frac{A_B}{P_B^2} \quad \text{Equação 9}$$

- Índice de Circularidade -  $I_C$  informa sobre o potencial de escoamento da bacia e quando o valor encontrado se aproxima da unidade, a bacia tende à forma circular (Equação 10):

$$I_C = \frac{A_B}{A_C} \quad \text{Equação 10}$$

Onde:

$A_B$  = área total da bacia de drenagem ( $\text{km}^2$ );

$P_B$  = perímetro da bacia (km);

$A_C$  = área do círculo de perímetro igual ao da bacia considerada ( $\text{km}^2$ ).

- Densidade de Drenagem –  $D_D$  ( $\text{km.km}^{-2}$ ) é a relação entre o comprimento dos rios –  $L_i$  e a área da bacia –  $A_B$  (Equação 11):

$$D_D = \frac{\sum L_i}{A_B} \quad \text{Equação 11}$$

- Densidade Hidrográfica –  $D_H$  é a relação entre o número total de canais de 1.<sup>a</sup> ordem –  $n_1$  e a área da bacia –  $A_B$  (Equação 12) e é considerada baixa se o valor for  $< 3$ , média se ficar entre 3 e 7, alta entre 7 e 15 e muito alta se o valor for  $> 15$  (LOLLO, 1995):

$$D_H = \frac{n_1}{A_B} \quad \text{Equação 12}$$

- Textura Topográfica –  $T_T$  é o grau de dissecação ou entalhamento do relevo (Equação 13), revelando o poder de energia da drenagem na esculturação da paisagem:

$$\log T_T = 0,219649 + 1,115 \times \log \frac{\sum L_i}{A_B} \quad \text{Equação 13}$$

- Coeficiente de Manutenção –  $C_M$  ( $\text{m}^2.\text{m}^{-1}$ ) é a área mínima para manter em funcionamento um metro de canal de escoamento (Equação 14):

$$C_M = \frac{1}{D_D} \times 1000 \quad \text{Equação 14}$$

- Índice de Rugosidade –  $I_R$  é a análise dimensional da topografia, combinando altitude máxima –  $H_{\max}$  e a densidade de drenagem (Equação 15):

$$I_R = \frac{\sum L_i}{A_B} \times H_{\max} \quad \text{Equação 15}$$

- Extensão de Percurso Superficial –  $E_{PS}$  (m) é a distância média percorrida pelo escoamento concentrado até encontrar um canal permanente (Equação 16):

$$E_{PS} = \frac{1}{2D_D} \times 1000 \quad \text{Equação 16}$$

- Gradiente do Canal Principal –  $G_{CP}$  (%) é a relação da diferença de altitude entre a nascente e a foz –  $\Delta H_{CP}$  e a extensão do canal principal –  $L_{CP}$  (Equação 17):

$$G_{CP} = \frac{\Delta H_{CP}}{L_{CP}} \times 100\% \quad \text{Equação 17}$$

- Relação de Relevo –  $R_R$  ( $m.km^{-1}$ ) é a relação entre a altura da bacia –  $H_B$  e o comprimento da bacia –  $L_B$  (Equação 18), medida por meio do lançamento de uma linha reta, paralela ao principal curso, com origem na foz e término no ponto mais elevado da linha divisora de água. Essa variável  $R_R$  representa a movimentação topográfica da área e controla boa parte da velocidade de escoamento superficial, ou seja, afeta o tempo que a água da chuva leva para se concentrar nos leitos fluviais que constituem a rede de drenagem (RIBEIRO, 2002):

$$R_R = \frac{H_B}{L_B} \quad \text{Equação 18}$$

Collares (2000) avaliou, também, as alterações ocorridas em uma bacia, por intermédio das seguintes variáveis:

- Razão de Bifurcação –  $R_B$  é geralmente constante para as diversas ordens de canais e representa a relação entre o número de canais de certa ordem –  $n_i$  e o número total da ordem imediatamente superior –  $n_{i+1}$  (Equação 19):

$$R_B = \frac{n_i}{n_{i+1}} \quad \text{Equação 19}$$

- Comprimento médio dos canais por ordem –  $L_{mi}$  (km) avalia a variação (redução ou aumento) na extensão de caminhos para o escoamento linear das águas em uma bacia e é determinado por meio da razão entre o comprimento total –  $L_i$  e o número total de canais na mesma ordem –  $n_i$  (Equação 20):

$$L_{mi} = \frac{L_i}{n_i} \quad \text{Equação 20}$$

- Razão de comprimento médio –  $R_{Lm}$  é a relação entre o comprimento médio dos canais de determinada ordem –  $L_{mi}$  e o comprimento dos canais de ordem imediatamente inferior –  $L_{mi-1}$  (Equação 21):

$$R_{Lm} = \frac{L_{mi}}{L_{mi-1}} \quad \text{Equação 21}$$

- Índice de Sinuosidade –  $S_i$  é a relação entre o comprimento do rio principal –  $L_{CP}$  da bacia e o seu comprimento vetorial –  $L_{PV}$  (Equação 22), e descreve o grau de sinuosidade ou divagação dos cursos d'água, que constitui um fator controlador da velocidade de escoamento das águas (VILLELA; MATTOS, 1980):

$$S_i = \frac{L_{CP}}{L_{PV}} \quad \text{Equação 22}$$

Collares (2000) ressalta que tanto a razão de bifurcação como a razão entre comprimentos médios são de grande valia quando utilizadas em avaliação temporal comparativa. As mudanças (taxa de redução ou aumento expressa em porcentagem) podem indicar alterações internas nas bacias, mesmo com variações pouco significativas no número de canais ou variáveis dimensionais.

Salamuni *et al.* (2004) avaliaram a simetria da bacia e da topografia de cada uma das sub-bacias de drenagem tributárias do alto rio Iguaçu, na região que abrange a Bacia de Curitiba, por meios dos seguintes fatores:

- Fator de Assimetria da bacia de drenagem –  $F_A$ : reflete o componente de deslocamento lateral do seu rio principal, perpendicularmente à direção de seu eixo (Equação 23). Essa migração é causada por processos fluviais internos e/ou forças tectônicas. Valores de  $F_A$  iguais ou próximos a 50 revelam pouca ou nenhuma atividade tectônica,  $F_A < 50$  revela um provável basculamento da margem esquerda do rio e  $F_A > 50$  indica basculamento da margem direita:



$$F_A = 100 \times \frac{A_d}{A_B} \quad \text{Equação 23}$$

Onde:

$A_d$  = área da bacia à direita do rio, olhando para jusante ( $\text{km}^2$ );

$A_B$  = área da bacia ( $\text{km}^2$ ).

- Fator de Simetria Topográfica Transversal –  $F_T$ : é baseado no fato de que a migração preferencial do canal caracteriza uma assimetria do perfil topográfico transversal ao canal (Equação 24). Quando  $F_T$  é próximo de zero, não há alteração do perfil topográfico e quando os valores de  $F_T$  se aproximam de 1, há crescimento da assimetria.

$$F_T = \frac{D_c}{D_b} \quad \text{Equação 24}$$

Onde:

$D_c$  = distância da linha média do eixo da bacia até a linha média do cinturão do meandro ativo (km);

$D_b$  = distância da linha média do eixo da bacia ao divisor da bacia (km).

Portanto, as variações nos aspectos físicos da rede de drenagem poderão estar diretamente relacionadas à intensidade dos processos erosivos existentes, quando não houver evidências de outro agente natural capaz de modificar a paisagem.

### 3.4 ASSOREAMENTO

O assoreamento é um fenômeno de deposição de sedimentos de solos desagregados e transportados, a partir de áreas fontes, que aumenta o nível de terra submersa de oceanos, lagos e rios, reduzindo a profundidade dos reservatórios e, consequentemente, a capacidade de geração de energia em usinas hidrelétricas. A porcentagem de sedimentos transportados que atingem os oceanos é de 25% a 33% de toda erosão produzida no mundo, sendo que o restante se deposita nas

áreas inundáveis, cursos d'água, lagos e reservatórios hidráulicos (DIAZ, 2001).

Em 1982, estimou-se que  $12,5 \text{ milhões de t.ano}^{-1}$  de sedimentos foram depositados no reservatório da usina hidrelétrica de Itaipu, sendo que 4,8 milhões eram provenientes do estado do Paraná (DERPSCH *et al.*, 1991).

Já na represa de Passaúna, município de Araucária – PR, observou-se que a deposição de material era entre  $0,66$  a  $3,04 \text{ cm.ano}^{-1}$ , com base em coleta de testemunhos verticais no fundo desse reservatório, durante o período de 1990 a 2002 (SAUNITI *et al.*, 2004). Considerando-se a área do reservatório de  $214 \text{ km}^2$  (GONZAGA *et al.*, 2004) e o valor médio do peso específico dos grãos de solo como sendo  $2,65 \text{ t.m}^{-3}$  (FIORI; CARMIGNANI, 2001; SIQUEIRA, 2006; ORTIGÃO, 2007), a deposição de sedimentos foi de  $3,74$  a  $17,23 \text{ milhões de t.ano}^{-1}$ .

A ocorrência de sedimentação numa bacia hidrográfica está intimamente relacionada ao processo erosivo, uma vez que fornece os materiais de origem. A sedimentação ocorre quando não há energia suficiente para o transporte do material erodido, o qual é, então, depositado (GUERRA, 1995). Logo, a sedimentação envolve processos naturais de erosão, transporte e deposição de partículas sólidas e tem atuado ativamente em todo tempo geológico, contribuindo, principalmente, com o modelado do relevo.

Porém, as atividades humanas têm uma grande influência nesses processos naturais e que, sob determinadas circunstâncias, chegam a taxas 100 vezes maiores quando comparadas com a simples ação da natureza. Essas atividades, além de provocarem o aumento da poluição das águas através das partículas de solos que atuam como catalisadoras e fixadoras de poluentes como pesticidas, agentes químicos presentes nos lixos, resíduos tóxicos, nutrientes e bactérias patogênicas, aceleram, também, o assoreamento de rios, reservatórios e oceanos, devido ao aumento de volume dos sedimentos carregados (CARVALHO *et al.*, 2000b).

As partículas de solo destacadas pelas gotas de chuvas são transportadas pelo fluxo de água por suspensão, arraste ou rolamento, sendo que os reservatórios naturais ou artificiais interferem no fluxo, por reterem esses sedimentos. Observa-se que as partículas sólidas, como pedregulhos e areias grossas, se assentam mais próximas da entrada dos reservatórios (depósito de remanso), enquanto as partículas mais finas vão se depositando mais para jusante (depósito de fundo ou de leito), na medida em que a velocidade de fluxo torna-se cada vez menor e o peso próprio tende a deslocá-las para baixo, ou permanecem em suspensão, alcançando

a saída de descarga (CARVALHO *et al.*, 2000a e CARVALHO, 2008).

Portanto, nos reservatórios ocorre a diminuição da velocidade e turbulência das águas, causando redução na capacidade de transporte, iniciando, assim, o processo de assoreamento dos mesmos. Como consequência do assoreamento, há a diminuição progressiva na capacidade de armazenamento e na vida útil dos reservatórios (CARVALHO *et al.*, 2000a).

Para o cálculo do volume de sedimentos retidos no reservatório utiliza-se a Equação 25 (CARVALHO, 2008).

$$S_R = \frac{A_S \times E_R}{\gamma_d} \quad \text{Equação 25}$$

Onde:

$S_R$  = volume de sedimento retido no reservatório ( $\text{m}^3 \cdot \text{ano}^{-1}$ );

$A_S$  = aporte de sedimento no exutório da bacia ( $\text{t} \cdot \text{ano}^{-1}$ );

$E_R$  = eficiência de retenção do sedimento afluente ao reservatório;

$\gamma_d$  = peso específico aparente dos depósitos ( $\text{t} \cdot \text{m}^{-3}$ ).

#### 3.4.1 Aporte de Sedimentos – $A_S$

Para a determinação da produção de sedimentos que chegam aos reservatórios é necessário aplicar um coeficiente à erosão calculada pela EUPS, pois nem todo sedimento erodido da bacia chega à rede de drenagem, ficando parte desse material depositado em declives, nas proeminências dos terrenos ou nas planícies (CARVALHO, 2008). O cálculo da produção ou aporte de sedimentos pode ser estimado através da Equação 26 (SILVA, 2004).

$$A_S = \frac{\text{SDR} \times \text{PS} \times A_B}{100} \quad \text{Equação 26}$$

Onde:

$A_S$  = aporte de sedimento no exutório da bacia ( $\text{t} \cdot \text{ano}^{-1}$ );

SDR = relação de aporte de sedimento (%);

PS = perda de solo médio, no interior da bacia ( $\text{t} \cdot \text{ha}^{-1} \cdot \text{ano}^{-1}$ );

$A_B$  = área da bacia (ha).

O coeficiente, o qual se designa *Sediment Delivery Ratio* (SDR), é traduzido como taxa ou coeficiente de produção de sedimentos ou, ainda, relação de aporte de sedimento. O SDR é a relação entre a produção efetiva, caracterizada pelos sedimentos produzidos pela erosão que chegam até a seção de referência da bacia e a produção total de sedimentos (BRANCO, 1998; CHAVES, 2008).

No entanto, apesar da simplicidade da Equação 26, o valor do SDR é influenciado pelas características do relevo, padrão de drenagem da bacia, condições dos canais, tipos de cobertura vegetal e de uso da terra, textura do solo e, também, pela natureza, extensão e localização das fontes de sedimento (WALLING, 1988).

O valor do SDR pode ser estimado por meio de equações empíricas, em que área da bacia, o gradiente do canal principal, o relevo da bacia, a relação de bifurcação da rede de drenagem são algumas das variáveis independentes usadas, conforme mostra o Quadro 1.

QUADRO 1 – EQUAÇÕES DE SDR USADAS NA PESQUISA, COM OS RESPECTIVOS AUTORES E VARIÁVEIS TRABALHADAS

AUTOR (ANO)	EQUAÇÃO	VARIÁVEIS
Maner (1958)	$\text{Log SDR} = 2,9426 + 0,82362 \log (\Delta H_{CP}/L_{CP})$	$\Delta H_{CP}$ = desnível da nascente e a foz do canal principal (m) $L_{CP}$ = comprimento do canal principal (m)
Roehl (1962)	$\text{Log SDR} = 4,365 - 0,230 \log A_B - 0,51 \log (L_{CP}/\Delta H_{CP}) - 2,786 \log R_B$	$\Delta H_{CP}$ = desnível da nascente e a foz do canal principal (m) $L_{CP}$ = comprimento do canal principal (m) $A_B$ = área da bacia (km <sup>2</sup> ) $R_B$ = relação de bifurcação de Horton
Renfro (1975)	$\text{Log SDR} = 1,793 - 0,142 \log A_B$	$A_B$ = área da bacia (km <sup>2</sup> )
Williams; Berndt (1972)	$\text{SDR} = 0,627 \times G_{CP}^{0,403}$	$G_{CP}$ = gradiente do canal principal (%)
Vanoni (1977)	$\text{SDR} = 0,42 \times A_B^{-0,125}$	$A_B$ = área da bacia (mi <sup>2</sup> )
NRCS (1979)	$\text{SDR} = 0,51 \times A_B^{-0,11}$	
Lu <i>et al.</i> (2006)	$\text{SDR} = 2 (t_r/t_c) \{1 - (t_r/t_c) + (t_r/t_c) \exp[-(t_c/t_r)]\}$	$t_c$ = tempo de concentração (h) $t_r$ = duração da precipitação (h), considerado igual a 0,5

FONTE: Adaptado de Ouyang (1997) e Chaves (2008)

NOTA: 1 km<sup>2</sup> = 0,3863 mi<sup>2</sup>.

As várias equações desenvolvidas para estimar o tempo de concentração de bacias hidrográficas ( $t_c$ ) como Kirpich, Dooge, Carter, *Federal Aviation Agency* e McCuen, que geralmente apresentam resultados muito divergentes entre elas (SILVA *et al.*, 2007).

Dentre as equações citadas, uma das mais utilizadas, por apresentar resultados mais satisfatórios, é a que foi apresentada pelo Departamento de Estradas de Rodagem da Califórnia, em 1942 (Equação 27). Esta equação é semelhante à fórmula de Kirpich, sendo apenas substituído o S por  $L/\Delta H$  (SILVA, 2007).

$$t_c = 57 \times L_{CP}^{1,155} \times \Delta H_{CP}^{-0,385} \quad \text{Equação 27}$$

Onde:

$t_c$  = tempo de concentração (min);

$L_{CP}$  = comprimento do canal principal (km);

$\Delta H_{CP}$  = desnível entre a nascente e a foz do canal principal (m).

Há, também, a equação de Dooge (Equação 28) apresentada em Porto (1995), mais usada em bacias hidrográficas rurais com áreas compreendidas entre 140 e 930 km<sup>2</sup>.

$$t_c = 21,88 \times A_B^{0,41} \times G_{CP}^{-0,17} \quad \text{Equação 28}$$

Onde:

$A_B$  = área da bacia (km<sup>2</sup>);

$G_{CP}$  = gradiente do canal principal (m/m).

As equações demonstradas (Quadro 1, p. 60) foram desenvolvidas em pequenas bacias dos Estados Unidos, sendo que, no Brasil, estudos de erosão em pequenas bacias são realizados, mas existem poucas informações a respeito do aporte de sedimentos (CHAVES, 2008). Por isso, há a necessidade de pesquisas que encontrem valores confiáveis de SDR e, assim, obter resultados precisos desse aporte de sedimentos, para poder escolher e aplicar programas eficientes de conservação do solo.

### 3.4.2 Eficiência de Retenção de Partículas de Solo – $E_R$

No estudo completo sobre o processo de sedimentação de um reservatório deve-se, além do cálculo de aporte de sedimentos que chegam até o mesmo, conhecer a eficiência de retenção das partículas de solo afluentes (CARVALHO, 2008).

A  $E_R$  em reservatórios pode ser obtida por meio de medições sistemáticas das descargas sólidas efluente e a jusante da barragem. No caso em que não existam essas medições, pode-se utilizar a curva de Churchill para pequenos reservatórios e a curva de Brune para médios e grandes (CARVALHO, 2008).

A curva de Churchill (Figura 17) possui, no eixo das ordenadas, a porcentagem do sedimento que passa para jusante da barragem, e, no eixo das abscissas, o valor do Índice de Sedimentação – IS (MORRIS; FAN, 1997).

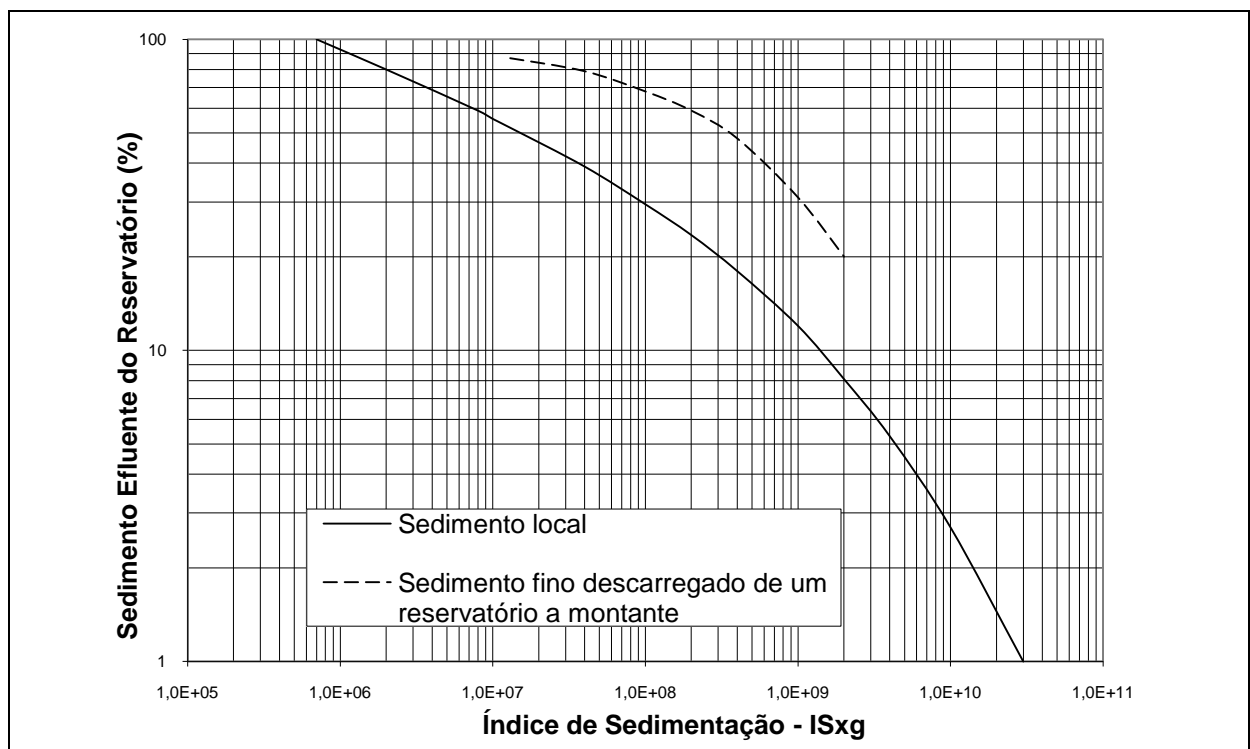


FIGURA 17 – CURVAS DE CHURCHILL PARA DETERMINAÇÃO DO ÍNDICE DE SEDIMENTAÇÃO  
FONTE: Adaptado de Vanoni (1977)

O IS (Equação 29) é igual ao período de retenção (volume do reservatório dividido pela vazão média diária durante o período de estudo), dividido pela velocidade média no reservatório (vazão média diária dividida pela área da seção transversal média, sendo essa área determinada pela divisão do volume do

reservatório e seu comprimento), multiplicado pela aceleração da gravidade (CARVALHO; GUILHON; TRINDADE, 2000).

$$IS \times g = \frac{V_{res}^2}{Q_{med}^2 \times L} \times g \quad \text{Equação 29}$$

Onde:

IS = índice de sedimentação do reservatório (s/m);

$V_{res}$  = volume do reservatório no nível médio de operação ( $m^3$ );

$Q_{med}$  = vazão média afluente ao reservatório ( $m^3.s^{-1}$ );

L = comprimento do reservatório (m);

g = aceleração da gravidade ( $9,815 m.s^{-2}$ );

A eficiência de retenção pode ser obtida pela diferença de 100% do valor encontrado na curva de Churchill ou pela Equação 30 (CARVALHO, 2008).

$$E_R = 100 - [1600 \times (IS \times g)^{-0,2} - 12] \quad \text{Equação 30}$$

Onde:

IS = índice de sedimentação do reservatório (s/m);

g = aceleração da gravidade ( $9,815 m.s^{-2}$ );

$E_R$  = eficiência de retenção do sedimento afluente ao reservatório.

A curva de Brune (Figura 18) apresenta no eixo das ordenadas o valor da eficiência de retenção de sedimentos ( $E_R$ ) no reservatório, em porcentagem, e, no eixo das abscissas, a capacidade de afluência ( $C_{afl}$ ), que corresponde ao volume do reservatório, dividido pelo deflúvio médio anual afluente (Equação 31).

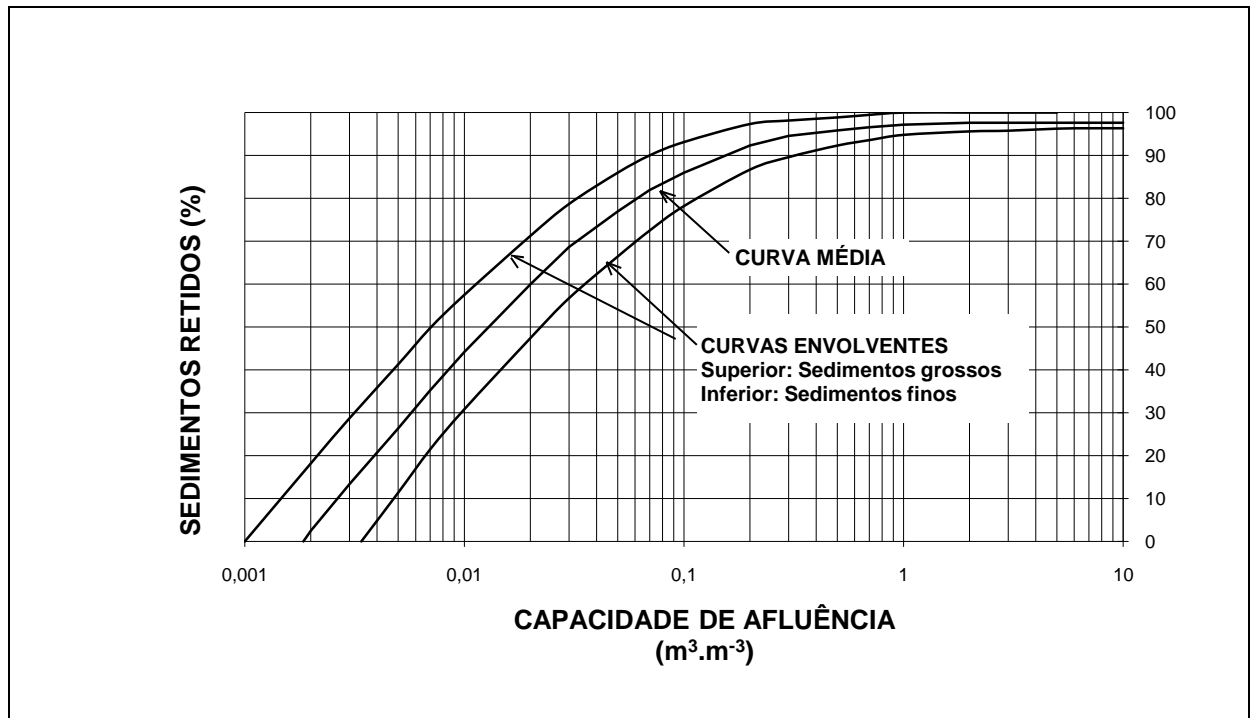


FIGURA 18 – CURVAS DE BRUNE PARA DETERMINAÇÃO DA EFICIÊNCIA DE RETENÇÃO DE SEDIMENTOS EM RESERVATÓRIOS

FONTE: Adaptado de Mahmood (1987)

$$C_{\text{afl}} = \frac{V_{\text{res}}}{V_{\text{afl}}} = \frac{V_{\text{res}}}{Q_{\text{med}} \times 365 \times 24 \times 60 \times 60} \quad \text{Equação 31}$$

Onde:

$C_{\text{afl}}$  = capacidade de afluência ( $\text{m}^3 \cdot \text{m}^{-3}$ );

$V_{\text{res}}$  = volume do reservatório ( $\text{m}^3$ );

$Q_{\text{med}}$  = vazão média afluyente ao reservatório ( $\text{m}^3 \cdot \text{s}^{-1}$ ).

### 3.4.3 Peso Específico Aparente dos Depósitos – $\gamma_d$

O peso específico aparente médio dos depósitos ( $\gamma_d$ ) pode variar conforme a granulometria predominante dos sedimentos, ou seja, se os sedimentos forem mais argilosos, o  $\gamma_d$  ficará entre 0,42 a 0,96  $\text{t} \cdot \text{m}^{-3}$ ; se forem mais siltosos, o  $\gamma_d$  será de 1,12 a 1,17  $\text{t} \cdot \text{m}^{-3}$ ; e, se possuírem mais areias, o  $\gamma_d$  será de 1,55  $\text{t} \cdot \text{m}^{-3}$ . No caso dos sedimentos apresentarem composição com proporções aproximadamente iguais de argila, silte e areia, o  $\gamma_d$  ficará entre 1,02 a 1,22  $\text{t} \cdot \text{m}^{-3}$  (CARVALHO, 2008).

Como o material predominante depositado em pequenos reservatórios é a



areia, pode-se, então, arbitrar o  $\gamma_d$  entre 1,4 a 1,5 t.m<sup>-3</sup>. Para os reservatórios de porte médio, pode-se adotar o  $\gamma_d$  entre 1,2 a 1,4 t.m<sup>-3</sup>. Já para os grandes reservatórios, em que somente pequena quantidade de finos passa pelos condutos e vertedouro, o  $\gamma_d$  pode variar entre 1,1 a 1,3 t.m<sup>-3</sup> (CARVALHO, 2008).

#### 3.4.4 Taxa de Denudação – h

A taxa de denudação, degradação ou desgaste do solo é dado pelo valor da altura da superfície do solo, retirada pelo efeito da erosão. Para se obter essa altura calcula-se a quantidade total de sedimento que sai da bacia e divide-se esse valor pela área da bacia e pelo peso específico aparente do solo ( $\gamma_{nat}$ ). Esse resultado deve ser transformado para unidade de mm (10<sup>-3</sup> m) ou  $\mu$  (10<sup>-6</sup> m), quando a avaliação é para um espaço de tempo curto (Equação 32). O  $\gamma_{nat}$  está entre 1,3 a 2,4 t.m<sup>-3</sup> e costuma-se adotar um valor de 1,6 t.m<sup>-3</sup> (CARVALHO, 2008).

$$h = \frac{A_S}{A_B \times \gamma_{nat}} \quad \text{Equação 32}$$

Onde:

$h$  = altura da degradação do solo (m)

$A_S$  = quantidade de sedimento que sai da bacia (t.ano<sup>-1</sup>);

$A_B$  = área da bacia (m<sup>2</sup>)

$\gamma_{nat}$  = peso específico aparente do solo (t.m<sup>-3</sup>).

### MATERIAIS E MÉTODOS

#### 4.1 MATERIAIS

A execução dos mapas e a geração de modelo digital do terreno foram realizadas no SIG com os *softwares* de geoprocessamento ArcView 3.2 (ESRI, 1999) e o programa SPRING 5.0 (INPE, 2007b; SPRING, 1996) com os módulos IMPIMA 5.0 (leitura e conversão de imagens) e SCARTA 5.0 (elaboração de cartas). Para a realização dos trabalhos foram utilizadas:

- fotos aéreas pancromáticas (escala 1:25.000) da cobertura aerofotogramétrica do Paraná de 1952 (19971 a 19977, 20761 a 20768, 20776 a 20780, 19212 a 19217, 19155 a 19159 e 24300 a 24301), no total de 33 fotos pertencentes a Mapoteca da SEMA/PR (SEMA 1952);
- fotos aéreas pancromáticas (escala 1:25.000) da cobertura aerofotogramétrica do Paraná de 1980 (46111 a 46114, 50465 a 50468, 50594 a 50598, 50642 a 50645, 50701 a 50702, 52377 a 52379, 54172 a 54179 e 54187 a 54194), no total de 39 fotos pertencentes a Mapoteca da SEMA/PR (SEMA 1980);
- fotos aéreas coloridas (escala 1:33.000) da cobertura aerofotogramétrica de abril/2001 (12A012 a 12A017, 13A011 a 13A016, 13B001 a 13B005, 14A008 a 14A014, 15A007 a 15A012, 16011 a 16014 e 17006 a 17007) no total de 36 fotos, executada pela Engefoto S/A (UEPG, 2002);
- ortofotocartas coloridas (escala 1:10.000), de abril/2001, plantas planialtimétricas, com curvas de nível equidistantes de 5 m, rede de drenagem e vias de acessos, em arquivo *Drawing Exchange Format* (.dxf) georreferenciados, obtidas do trabalho da UEPG (2002);
- imagens de satélites, nas bandas 2B, 3R e 4G, cena 221/077, dos satélites LANDSAT-5, Imagem TM, de 26.05.1984; LANDSAT-5, Imagem TM, de 23.04.1995 e LANDSAT-7, Imagem ETM<sup>+</sup>, de 17.03.2002; e cena 157/128 dos satélites CBERS-2, câmara CCD, de 07.03.2007 e CBERS\_2B, câmara CCD, de 29.08.2009. Todas essas imagens foram obtidas no

formato digital, pelo site do Instituto Nacional de Pesquisas Espaciais - INPE (1984; 1995; 2002; 2007a e 2009).

#### 4.2 SISTEMA DE INFORMAÇÃO GEOGRÁFICA – SIG

Os trabalhos se iniciaram com a criação de um banco de dados e um projeto, denominados Pitangui e Tese, respectivamente, em ambiente SPRING, com limites em coordenadas planas, do sistema de projeção *Universal Transversa de Mercator* – UTM, *Datum Horizontal South American 1969* – SAD 69, meridiano central 51º Oeste de Greenwich, fuso 22 Sul. Em seguida, foram criadas várias categorias do tipo: temático (TE), modelo numérico do terreno (MNT) e imagem (IMG) para receber os planos de informações (PIs) necessários para a realização desta pesquisa (Quadro 2).

QUADRO 2 – ESTRUTURA DO BANCO CRIADO NO AMBIENTE SPRING PARA A BHAP

Banco de Dados: <b>PITANGUI</b>			
Projeto: <b>TESE</b>			
<b>MODELO</b>	<b>CATEGORIA</b>	<b>PLANO DE INFORMAÇÃO</b>	
MNT	ALTIMETRIA	Curvas Divisores Distancias	Divisores_LQ Linha_Quebra
MNT	DECLIVE	Declive_Graus	Declive_Per
MNT	EUPS	Eups_1984 Eups_1995	Eups_2002 Eups_2007
MNT	FATOR_CP	Fator_C_1984 Fator_C_1995 Fator_C_2002 Fator_C_2007 Fator_P_1984 Fator_P_1995	Fator_P_2002 Fator_P_2007 Fator_CP_1984 Fator_CP_1995 Fator_CP_2002 Fator_CP_2007
MNT	FATOR_K	Fator_K	
MNT	FATOR_LS	Fator_L Fator_S	Fator_LS
MNT	FATOR_R	Fator_R_1984 Fator_R_1995	Fator_R_2002 Fator_R_2007
IMG	IMAGENS_AEREAS	1952 B1_2001 B2_2001 B3_2001	1980 Orto_2001_B1 Orto_2001_B2 Orto_2001_B3
IMG	IMAGENS_CBERS	B2_C_2007 B3_C_2007 B4_C_2007	B_SIN_2007 Imagem_Class_2007

Continua

Continuação

MODELO	CATEGORIA	PLANO DE INFORMAÇÃO	
IMG	IMAGENS_GERAIS	Imagem_MNT	Imagem_Sombreada
IMG	IMAGENS_LANDSAT	B2_C_1984 B3_C_1984 B4_C_1984 B_SIN_1984 B2_C_1995 B3_C_1995 B4_C_1995	B_SIN_1995 B2_C_2002 B3_C_2002 B4_C_2002B_SIN_2002 Imagem_Class_1995 Imagem_Class_1984 Imagem_Class_2002
TE	MAPA_ACESSOS	Vias	
MNT	MAPA_CURVAS	Curvas_Nivel	
TE	MAPA_DECLIVIDADES	Declividades	
TE	MAPA_DIVISORES	Divisores	
TE	MAPA_ESTRURAS_CONTATOS	Contatos Estruturas	Lineamentos_Altimetria Lineamentos_Hidrografia
TE	MAPA_GEOLOGICO	Geologia	
TE	MAPA_GEOMORFOLOGICO	Geomorfologia	
IMG	MAPA_HIDROGRAFICO	Anomalias Lagos	Drenagem
TE	MAPA_HIPSOMETRICO	Imagem_Sombreada	
TE	MAPA_PLUVIO	P_1984 P_1995	P_2002 P_2007
TE	MAPA_SOLOS	Solos	Pontos_Coletas
TE	MAPA_USO_OCUPAÇÃO	Uso_1984 Uso_1995	Uso_2002 Uso_2007
TE	MAPA_VEGETAÇÃO	Vegetação	
TE	PERDA_SOLOS	Eups_1984 Eups_1995 Eups_2002 Eups_2007 Fator_R_1984 Fator_R_1995 Fator_R_2002 Fator_R_2007 Fator_K	Fator_LS Fator_C_1984 Fator_C_1995 Fator_C_2002 Fator_C_2007 Fator_P_1984 Fator_P_1995 Fator_P_2002 Fator_P_2007
TE	PERÍMETRO	Bacia	Base_Cartografica
TE	VOÇOROCAS_RAVINAS	Ravinas_1952 Ravinas_1980 Ravinas_2001	Voçorocas_1952 Voçorocas_1980 Voçorocas_2001
MNT	CURVAS_VOÇOROCAS	Curvas_1952 Curvas_1980	Curvas_2001

NOTA: MNT = Modelo Numérico do Terreno; TE = Temático; IMG = Imagem; R = Erosividade das chuvas; K = Erodibilidade dos solos; CP = Práticas Conservacionistas; EUPS = Equação de Perda de Solos; LS = Comprimento e Declividade das rampas.

Os arquivos das curvas de nível, hidrografia e acessos, existentes no AutoCAD 2000 e obtidos da UEPG (2002), foram transformados no formato *shapefile* (.shp), para serem aceitos e decodificados pelo ArcView 3.2. Na sequência,

recortaram-se todos esses arquivos para os limites da área da bacia e verificaram-se os desenhos, para melhorar algumas imperfeições existentes no traçado da rede de drenagem e de acessos.

Portanto, após os trabalhos realizados no ArcView, os arquivos vetoriais das curvas de nível, hidrografia e acessos foram convertidos para ASCII - *American Standard Code for Information Interchange*, (Código Padrão Americano para o Intercâmbio de Informação) do SPRING e importados ao projeto, por meio da entidade Amostra (MNT) e Linha com Ajuste (TE), na escala 1:10.000. Passou-se, então, para a sequência de tratamentos existentes no SPRING e interpretação das características topográficas da área de estudo.

Segundo Alves (2000), para representar uma superfície real em ambiente computacional é necessário a criação de uma Modelagem Numérica de Terreno – MNT (em inglês, DTM = *Digital Terrain Model*), para que sejam transmitidas as características espaciais do terreno.

Tomazoni (2003) comenta que na elaboração de um MNT pode-se distinguir três fases: aquisição dos dados (pela importação ou edição), geração de grades irregulares ou regulares e elaboração de produtos.

No SPRING, por meio da ferramenta MNT, há os comandos de "Geração de Grade Triangular" e "Geração de Grade Retangular", os quais, conforme o INPE (2000) são definidos como:

- Grade triangular (TIN – *Triangulated Irregular Network*) ou irregular: são formados por triângulos, em que os vértices são os pontos amostrados da superfície e as arestas são representadas por feições lineares de relevo (cristas) e drenagem (vales), permitindo, assim, a modelagem da superfície do terreno com a preservação das feições geomórficas da superfície.
- Grade retangular ou regular: é um modelo digital formado por um poliedro de faces retangulares, em que os vértices podem ser os próprios pontos amostrados, caso estes forem adquiridos nas mesmas localizações X e Y que definem a grade desejada.

Para a geração da grade TIN, utilizou-se como base de entrada as amostras curvas de nível e a rede de drenagem como linha de quebra, interpolador do tipo *Delaunay*, tolerância de isolinhas 4 m, distância entre pontos de isolinhas 80 m,

tolerância de linhas de quebra 4 m e menor aresta de triangulação 0,8 m. A geração de grade retangular teve o TIN como dado de entrada, interpolador linear e resolução de  $X = 5$  m e  $Y = 5$  m.

#### 4.3 PROCESSAMENTO DIGITAL DE IMAGENS – PDI

Os trabalhos iniciaram-se com a obtenção da forma digital das fotos aéreas, na resolução de 300 dpi e extensão *Tagged Image File Format* (.tif), através de escâner de mesa, totalizando 33 e 39 fotos monocromáticas para 1952 e 1980, respectivamente, e 36 fotos coloridas, nas bandas 1-R, 2-G e 3-B, para 2001.

Essas fotos aéreas e as demais imagens obtidas no formato digital tif (imagens de satélites e ortofotos), foram convertidas para o formato *Spring* (.spg), por meio do módulo IMPIMA 5.0 e, na sequência, as mesmas foram registradas no programa SPRING 5.0.

Conforme Alves (2000), no SPRING o registro é realizado pela transformação geométrica simples, por meio dos polinômios de 1.º ou 2.º graus, que relacionam as coordenadas da imagem com as coordenadas de um mapa, minimizando ou, até mesmo, eliminando as distorções existentes na imagem.

Portanto, as imagens foram importadas, registradas e, conseqüentemente, georreferenciadas, por meio da seleção de 10 pontos de controle, em média, pelo modo tela. Optou-se pela equação de mapeamento de 1.º grau e processo de interpolação vizinho mais próximo. Para esse registro, tomou-se como referência os planos de informações drenagem e vias, das categorias MAPA\_HIDROGRAFICO e MAPA\_ACESSOS, respectivamente.

Na sequência, importaram-se todas as fotos aéreas registradas, através do comando Mosaico, para a categoria IMAGENS\_AÉREAS e PIs denominados de 1952, 1980, B1\_2001, B2\_2001, B3\_2001, Orto\_2001\_B1, Orto\_2001\_B2 e Orto\_2001\_B3 (Figura 19 e Figura 20).

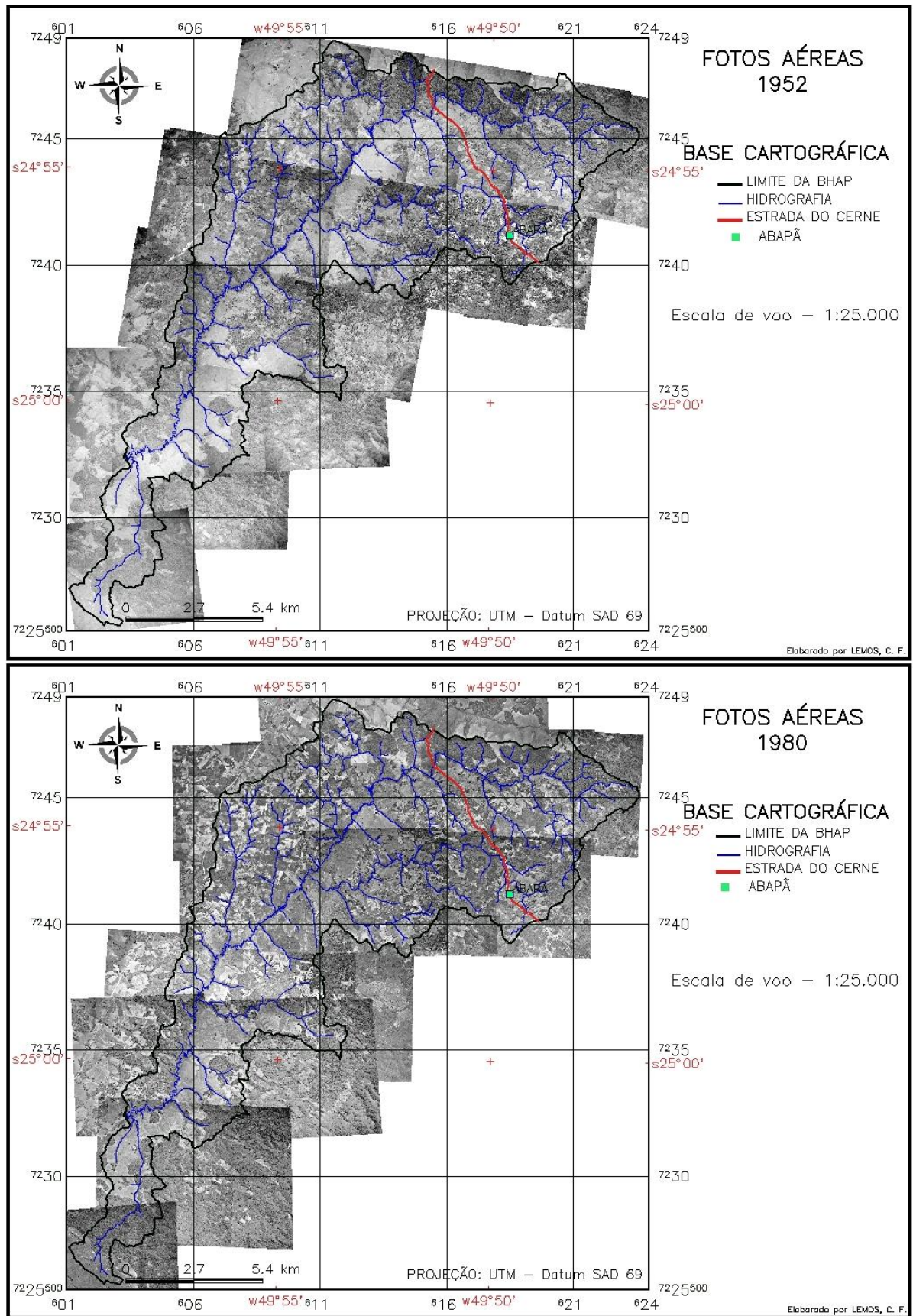


FIGURA 19 – MOSAICO DAS FOTOS AÉREAS DE 1952 E 1980 DA BHAP

FONTE: SEMA/PR (1952; 1980)



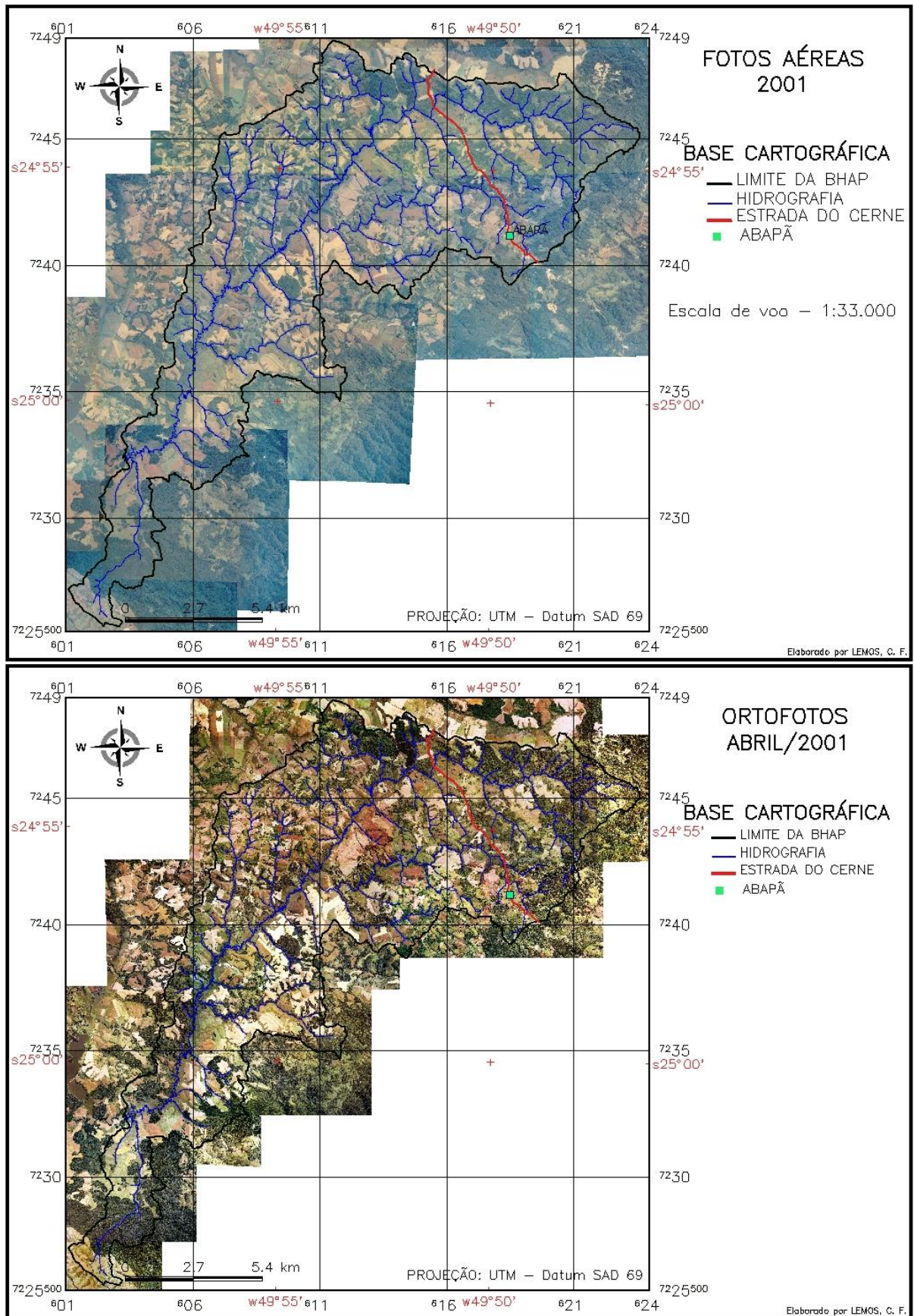


FIGURA 20 – MOSAICO DAS FOTOS AÉREAS E ORTOFOTOS DE 2001 DA BHAP  
 FONTE: UEPG (2002)



Nas imagens de satélites LANDSAT-5/1984, LANDSAT-5/1995, LANDSAT-7/2002, CBERS-2/2007 e CBERS-2B/2009 (Figura 21 e Figura 22) obtidas entre os meses de março a maio (estação de outono), foram aplicadas melhorias de contrastes, para facilitar a interpretação visual e a obtenção de informações necessárias.

Essas imagens foram compostas pelas bandas BRG/234, em que nessa composição permite-se identificar os alvos da imagem em cores quase verdadeiras, sendo as cores verdes indicando as áreas de vegetação.

Para cada uma das imagens compostas e mostradas na tela efetuou-se o ajuste visual do contraste, por meio da transformação linear em cada banda, resultando nos seguintes realces médios: LANDSAT-5/1984 (R = 88,79; G = 121,49; B = 89,25), LANDSAT-5/1995 (R = 91,40; G = 125,84; B = 76,15), LANDSAT-7/2002 (R = 90,79; G = 143,74; B = 89,25), CBERS-2/2007 (R = 200,06; G = 211,49; B = 201,78) e CBERS-2B/2009 (R = 80,14; G = 131,08; B = 113,94), utilizada como ilustração da situação da represa de Alagados em 2009.

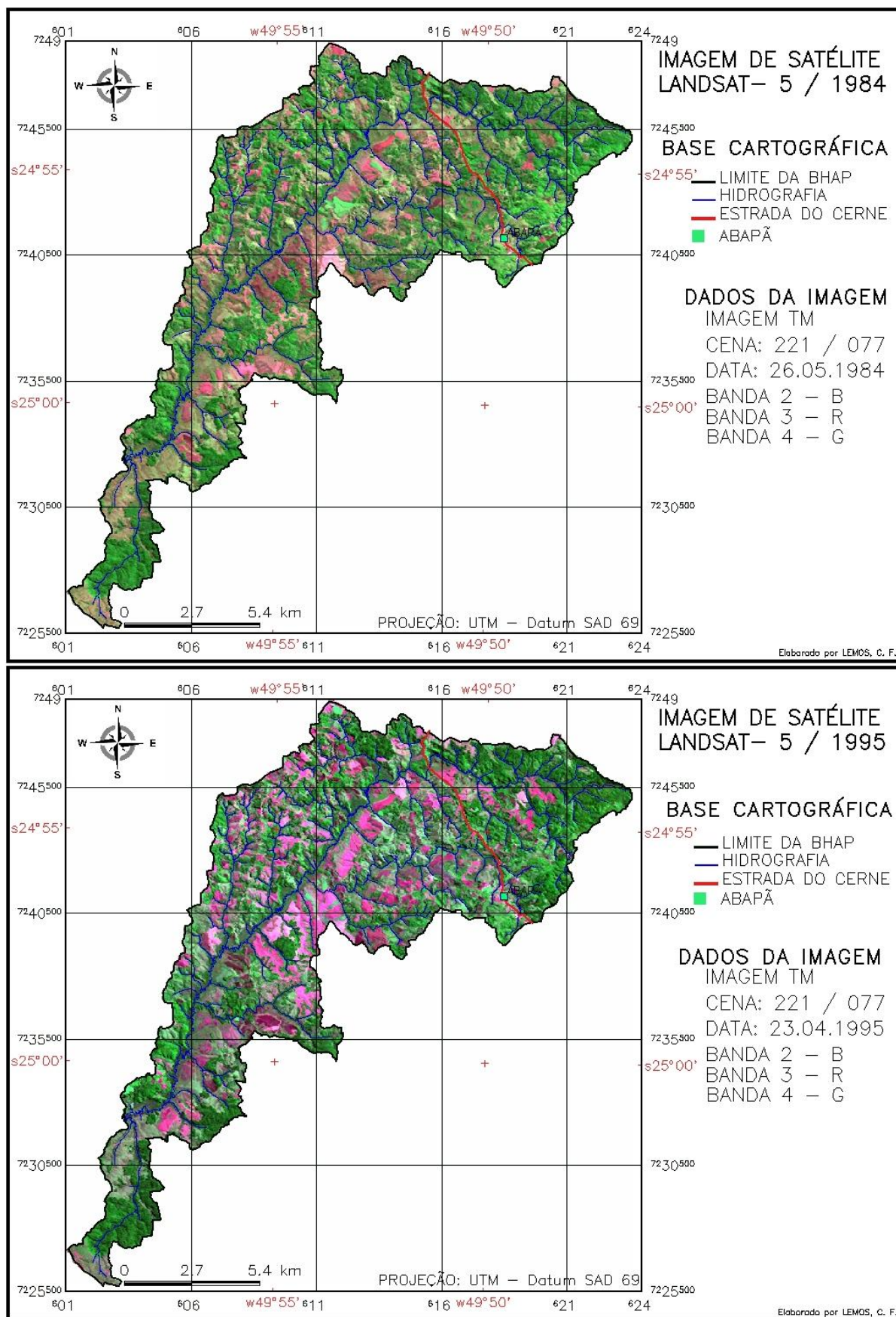


FIGURA 21 – IMAGENS DE SATÉLITE DE 1984 E 1995 DA BHAP  
FONTE: INPE (1984; 1995)

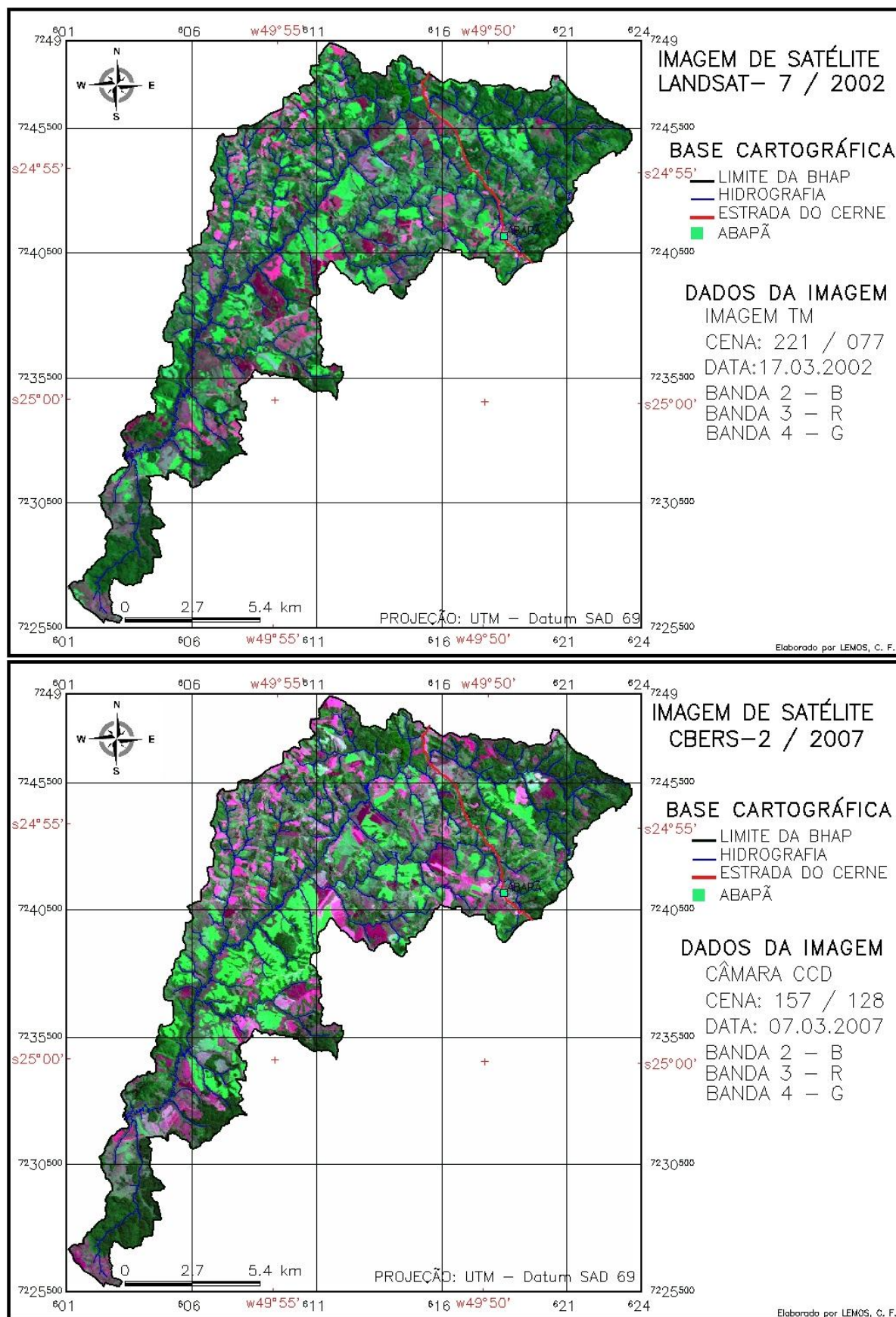


FIGURA 22 – IMAGENS DE SATÉLITE DE 2002 E 2007 DA BHAP

FONTE: INPE (2002; 2007)

#### 4.4 CLASSIFICAÇÃO DAS IMAGENS DE SATÉLITES

Os temas adotados (vegetação primária, vegetação secundária, campos e pastagens, reflorestamentos, áreas cultivadas, solo exposto úmido, solo exposto seco, áreas encharcadas, e lâminas de água), para a classificação das imagens de satélites, foram adaptados de IBGE (2006).

A classificação das imagens de satélites (LANDSAT-5/1984 e 1995, LANDSAT-7/2002 e CBERS-2/2007) foi realizada conforme o seguinte procedimento: a) no menu Classificação criou-se arquivo de contexto; b) por meio do Treinamento, foram adquiridas 5 amostras, no mínimo, para cada tema; c) no mesmo menu, com o comando Classificação, efetuou-se a análise preliminar das amostras usando o classificador Maxver (Máxima Verossimilhança), método de classificação baseado na ponderação das distâncias entre médias dos níveis digitais das classes, utilizando parâmetros estatísticos (SPRING, 2006) e limiar de aceitação de 100%; d) depois de gerado um PI com a imagem classificada foram eliminadas as amostras com desempenho médio inferior a 70%; f) com a Pós-Classificação, efetuou-se a classificação definitiva, usando peso 2 (varia de 1 a 7) e limiar 5 (varia de 1 a 7); g) utilizando o comando Mapeamento, associaram-se os temas da imagem classificada com as classes criadas no PI MAPA\_USO\_OCUPAÇÃO (TE), para receber os dados desta imagem.

Os valores das áreas correspondentes para cada tema classificado foram obtidos, automaticamente, pela ferramenta Estatística de Imagem por Polígono e apresentados em forma de tabela e gráficos.

#### 4.5 EROSÃO ENTRE-SULCOS OU LAMINAR

A quantificação da erosão laminar, levando-se em consideração as variações no uso, ocupação e manejo do solo, nos períodos de 1961 a 1984, de 1985 a 1995, de 1996 a 2002 e de 2003 a 2007, foi realizada com o uso da EUPS (Equação 1, p. 38), por meio do desenvolvimento da Linguagem Espacial para Geoprocessamento Algébrico – LEGAL (Apêndice 2 – Programa 1, p. 183), visando sua aplicação no SPRING 5.0 (Figura 23). O nível da perda de solo foi classificado conforme FAO (1967) (Tabela 2, p. 39).

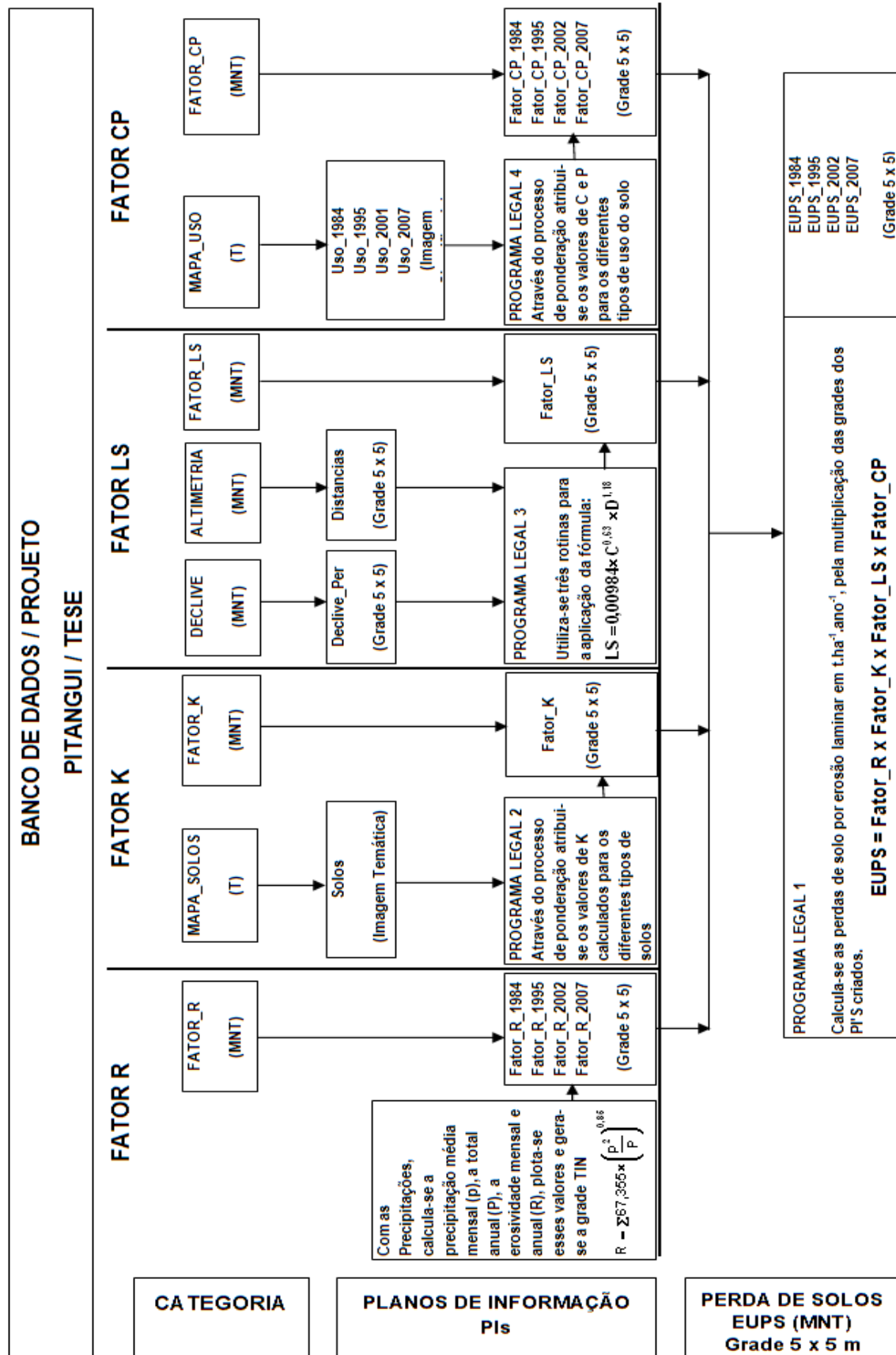


FIGURA 23 – FLUXOGRAMA DO CÁLCULO DAS PERDAS DE SOLO POR EROSÃO LAMINAR

FONTE: Adaptado de Tomazoni et al. (2005)



#### 4.5.1 Determinação da Erosividade da Chuva – Fator R

A Agência Nacional de Águas – ANA é responsável pela coordenação das atividades desenvolvidas em toda rede de estações hidrometeorológicas no território brasileiro. Segundo dados da ANA (2009), algumas das estações pluviométricas pesquisadas pertenceram ou pertencem às seguintes entidades responsáveis: Instituto Agrônomo do Paraná – IAPAR, Superintendência de Desenvolvimento de Recursos Hídricos e Saneamento Ambiental – SUDERHSA, Companhia Paranaense de Energia – COPEL e Companhia de Saneamento do Paraná – SANEPAR (Apêndice 1, Tabela 30, p. 180). Todos os dados coletados por essas instituições encontram-se acessíveis ao público e estão disponíveis no site da ANA. Dessa forma, foi possível encontrar os índices pluviométricos diários das séries históricas de estações próximas à área de estudo, no período entre 1961 a 2007.

Os dados de precipitação foram pesquisados em 31 estações pluviométricas, conforme mostra a Figura 24.

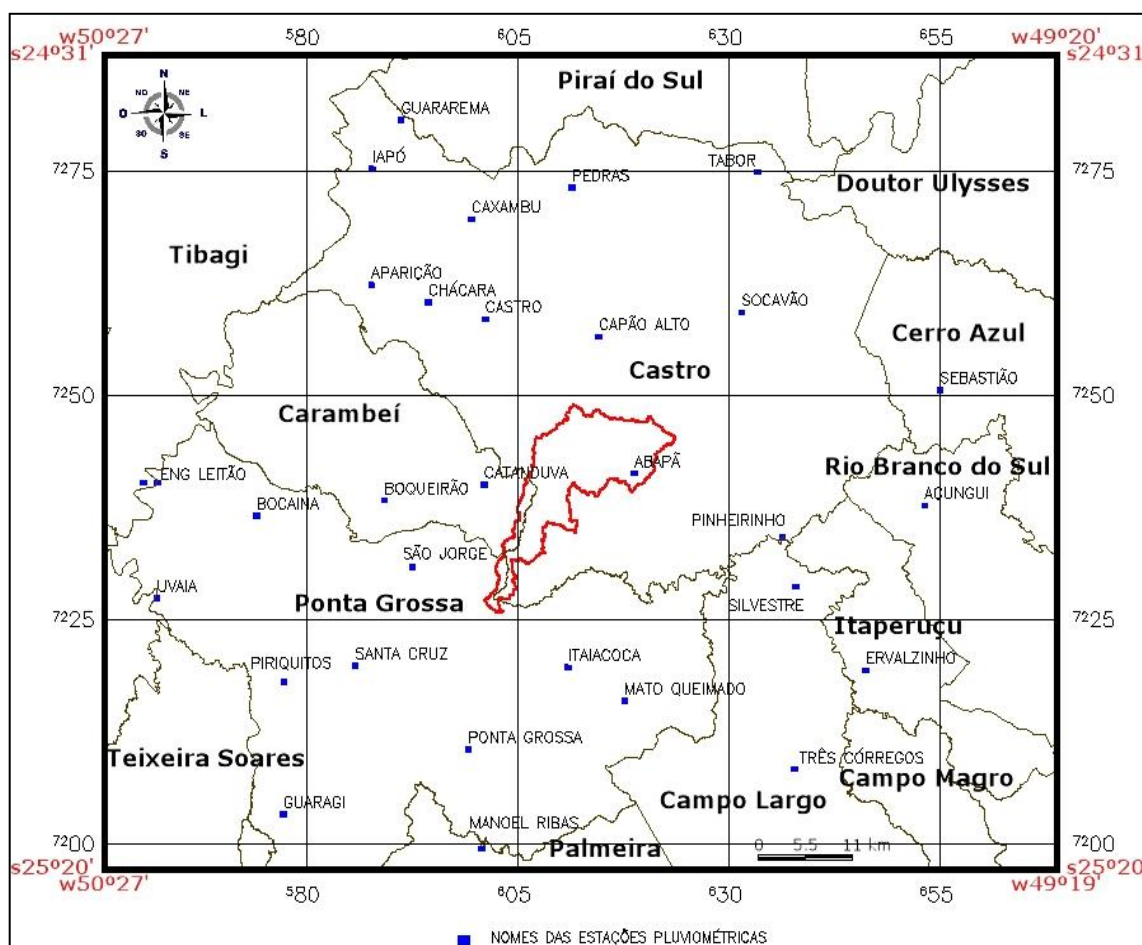


FIGURA 24 – MAPA DA LOCALIZAÇÃO DAS ESTAÇÕES PLUVIOMÉTRICAS PESQUISADAS

Os dados de precipitação obtidos na ANA (2009) foram subdivididos em 4 períodos distintos, ou seja, 1961 a 1984, 1985 a 1995, 1996 a 2002, 2003 a 2007. Em cada período trabalhou-se conforme a média aritmética simples do total mensal (p, mm) e total anual (P; mm. ano<sup>-1</sup>), considerando-se apenas os dados existentes dos anos que antecederam as imagens de satélites analisadas: 1984 – entre 1961 a 1984 (31 estações); 1995 – entre 1985 a 1995 (31 estações); 2002 – entre 1996 a 2002 (23 estações); e 2007 – entre 2003 a 2007 (17 estações) (Tabela 8).

TABELA 8 – PERÍODOS AVALIADOS E ESTAÇÕES PLUVIOMÉTRICAS PESQUISADAS

ESTAÇÃO	COORDENADAS		PERÍODOS AVALIADOS			
	X	Y	1961 a 1984 / anos	1985 a 1995 / anos	1996 a 2002 / anos	2003 a 2007 / anos
ABAPÃ	618.719	7.241.450	1976 a 1984 / 09	1985 a 1995 / 11	1996 a 2002 / 07	2003 a 2006 / 04
AÇUNGUI	653.100	7.237.878	1975 a 1984 / 10	1985 a 1995 / 11	--	--
APARIÇÃO	587.634	7.262.447	1976 a 1984 / 09	1985 a 1995 / 11	1996 a 1998 / 03	--
BOCAINA	574.012	7.236.719	1976 a 1984 / 09	1985 a 1995 / 11	1996 a 2002 / 07	2003 a 2006 / 04
BOQUEIRÃO	589.164	7.238.444	1976 a 1984 / 09	1985 a 1995 / 11	1996 a 1998 / 03	--
CAPÃO ALTO	614.554	7.256.713	1976 a 1984 / 09	1991 a 1989 / 05	--	--
CASTRO	601.090	7.258.664	1961 a 1984 / 24	1985 a 1994 / 10	1996 a 2002 / 07	2003 e 2006 / 02
CATANDUVA	600.954	7.240.207	1976 a 1984 / 09	1985 a 1995 / 11	1996 a 2002 / 07	2003 a 2006 / 04
CAXAMBU	599.484	7.269.780	1976 a 1984 / 09	1985 a 1990 / 06	--	--
CHÁCARA	594.363	7.260.557	1975 a 1984 / 10	1985 a 1995 / 11	1996 a 2002 / 07	2003 a 2006 / 04
ENG. LEITÃO	562.254	7.240.438	1976 a 1984 / 09	1985 a 1995 / 11	1996 a 2002 / 07	2003 a 2006 / 04
ERVALZINHO	646.172	7.219.524	1975 a 1984 / 10	1985 a 1995 / 11	1996 a 2002 / 07	2003 a 2006 / 04
GUARAGI	577.188	7.203.448	1976 a 1984 / 09	1985 a 1995 / 11	1996 a 1998 / 03	--
GUARAREMA	591.125	7.280.881	1976 a 1984 / 09	1985 a 1995 / 11	1996 a 1998 / 03	--
IAPÓ	587.744	7.275.396	1976 a 1984 / 09	1985 a 1995 / 11	1996 a 2002 / 07	2003 a 2006 / 04
ITAIACOCA	610.885	7.219.827	1975 a 1984 / 10	1985 a 1995 / 11	1996 a 2002 / 07	2003 a 2006 / 04
MANOEL RIBAS	600.653	7.199.602	1961 a 1984 / 24	1985 a 1995 / 11	1996 a 2002 / 07	2003 a 2006 / 04
MATO QUEIMADO	617.574	7.216.079	1975 a 1984 / 10	1985 a 1995 / 11	--	--
PEDRAS	611.318	7.273.351	1976 a 1984 / 09	1985 a 1995 / 11	1996 a 1998 / 03	--
PINHEIRINHO	636.237	7.234.364	1976 a 1984 / 09	1985 a 1995 / 11	1996 a 2002 / 07	2003 a 2006 / 04
PIRIQUITOS	577.272	7.218.213	1976 a 1984 / 09	1985 a 1995 / 11	1996 a 1998 / 03	--
PONTA GROSSA	599.057	7.210.689	1961 a 1984 / 24	1986 a 1995 / 10	--	--
SANTA CRUZ	585.683	7.220.009	1961 a 1984 / 24	1985 a 1995 / 11	1996 a 2002 / 07	2003 a 2006 / 04
SANTA MARIA	560.571	7.240.445	1976 a 1984 / 09	1985 a 1995 / 11	--	--
SÃO JORGE	592.478	7.231.039	1961 a 1984 / 24	1985 a 1988 / 04	--	--
SEBASTIÃO	654.928	7.250.781	1975 a 1984 / 10	1985 a 1995 / 11	1996 a 2002 / 07	2003 a 2006 / 04
SILVESTRE	637.863	7.228.810	1975 a 1984 / 10	1985 a 1995 / 11	--	--
SOCAVÃO	631.429	7.259.393	1976 a 1984 / 09	1985 a 1995 / 11	1996 a 2002 / 07	2003 a 2006 / 04
TABOR	633.293	7.275.035	1976 a 1984 / 09	1985 a 1995 / 11	1996 a 2002 / 07	2003 a 2006 / 04
TRÊS CÓRREGOS	637.657	7.208.506	1976 a 1984 / 09	1985 a 1995 / 11	1996 a 2002 / 07	2003 a 2006 / 04
UVAIA	562.195	7.227.519	1974 a 1984 / 11	1985 a 1987 / 03	2000 a 2002 / 03	2003 a 2006 / 04

Em algumas dessas estações, faltaram informações de precipitação devido a problemas de coleta ou por já se encontrarem desativadas (temporária ou definitivamente) ou, ainda, por terem sido ativadas apenas recentemente.

Para os trabalhos envolvendo a erosividade, foi necessária a criação de um novo projeto denominado ISOEROSIVIDADE, dentro do mesmo banco de dados Pitangui, no ambiente SPRING; com os limites em coordenadas planas dentro do sistema de projeção UTM – Datum SAD 69, com retângulo envolvente delimitado pelas coordenadas planas de 550.305 a 662.096 e de 7.193.478 a 7.288.468.

Iniciou-se esta etapa com o cálculo das médias totais mensais e anuais da precipitação, para o período considerado nesta pesquisa e para cada uma das estações pluviométricas. Passou-se, então, para os cálculos da média mensal do índice de erosividade –  $EI_{30}$ , Equação 2 e da erosividade anual – R, Equação 3, ambas na p. 40. Obtidos esses valores, foram criados oito arquivos, quatro para a precipitação média anual – P (Pluviometria\_1984, Pluviometria\_1995, Pluviometria\_2002 e Pluviometria\_2007) e quatro para a erosividade anual – R (Amostra\_1984, Amostra\_1995, Amostra\_2002 e Amostra\_2007), no modelo MNT e categoria DADOS\_PLUVIOMETRICOS, com as coordenadas de cada estação pluviométrica e os valores de P e R correspondentes a cada um dos períodos de estudo.

Na sequência, foram geradas as grades TIN (interpolador do tipo *Delaunay*, tolerância de isolinhas 4 m, distância entre pontos de isolinhas 80 m e menor aresta 0,8 m) e a retangular (com a grade TIN como dado de entrada, interpolador linear e resolução de X = 5 m e Y = 5 m).

Esses Pls foram recortados para a área de estudo e importados para o projeto Tese, categorias FATOR\_R (MNT) e MAPA\_PLUVIO (T).

Para visualização da distribuição dos dados da pluviometria, geraram-se os mapas de isoietas para os períodos de 1961 a 1984, de 1985 a 1995, de 1996 a 2002 e de 2003 a 2007, com o comando "Geração de Isolinhas". Na erosividade, procedeu-se o fatiamento da grade retangular, obtendo-se os seguintes planos de informação temáticos: Fator R\_1984, 1995, 2002 e 2007; sendo que o potencial erosivo da chuva foi avaliado conforme a classificação de Chueh (2004) (Tabela 3, p. 40).



#### 4.5.2 Determinação da Erodibilidade dos Solos – Fator K

##### 4.5.2.1 Trabalhos de campo

Foram realizadas seis atividades de campo (dias 3 e 22/10/2007, 04.04.2008, 16 e 17.07.2008 e 22.01.2009) que permitiram o reconhecimento das características da área de estudo e a observação, de forma generalizada, dos solos e dos componentes da paisagem. Foi possível identificar e cadastrar, por meio do uso de equipamento de GPS, os locais com voçorocas, previamente definidas na fotointerpretação e verificar *in loco* os processos atuantes no avanço dessas formas de erosão, além da coleta de amostras de solos.

A escolha dos locais para a retirada das amostras de solo foi baseada nos diferentes tipos de solos existentes, nos aspectos morfológicos presentes na área de estudo, no perfil de alteração dentro das erosões identificadas e na possibilidade de coleta devido o acesso, totalizando 12 pontos de coletas (Figura 25).

Os solos amostrados foram retirados da camada superficial (horizonte A) e numerados de 1 a 12, sendo que nos pontos 4, 9 e 11, coletou-se também amostras do horizonte diagnóstico subsuperficial (horizonte B) para a confirmação dos tipos de solos levantados na região por EMBRAPA (1984; 2008), Fasolo *et al.* (2002a), Fasolo *et al.* (2002b), Bognola *et al.* (2002a) e Bognola *et al.* (2002b), de acordo com o SBCS em EMBRAPA (2006).

Nos dias 16 e 17/07/2008, após a definição dos locais, foram coletadas amostras de solo, conforme o manual de coleta de solo no campo (LEMOS; SANTOS, 1984). Em seguida, essas amostras foram acondicionadas em sacos plásticos etiquetados e levadas para análise. Foi retirada uma amostra deformada, com aproximadamente 3 kg, para as análises físicas do solo e mais três amostras indeformadas, na forma de anéis pequenos ( $\varnothing = 5$  cm e  $h = 5$  cm), para obtenção do peso específico natural e umidade natural do solo.

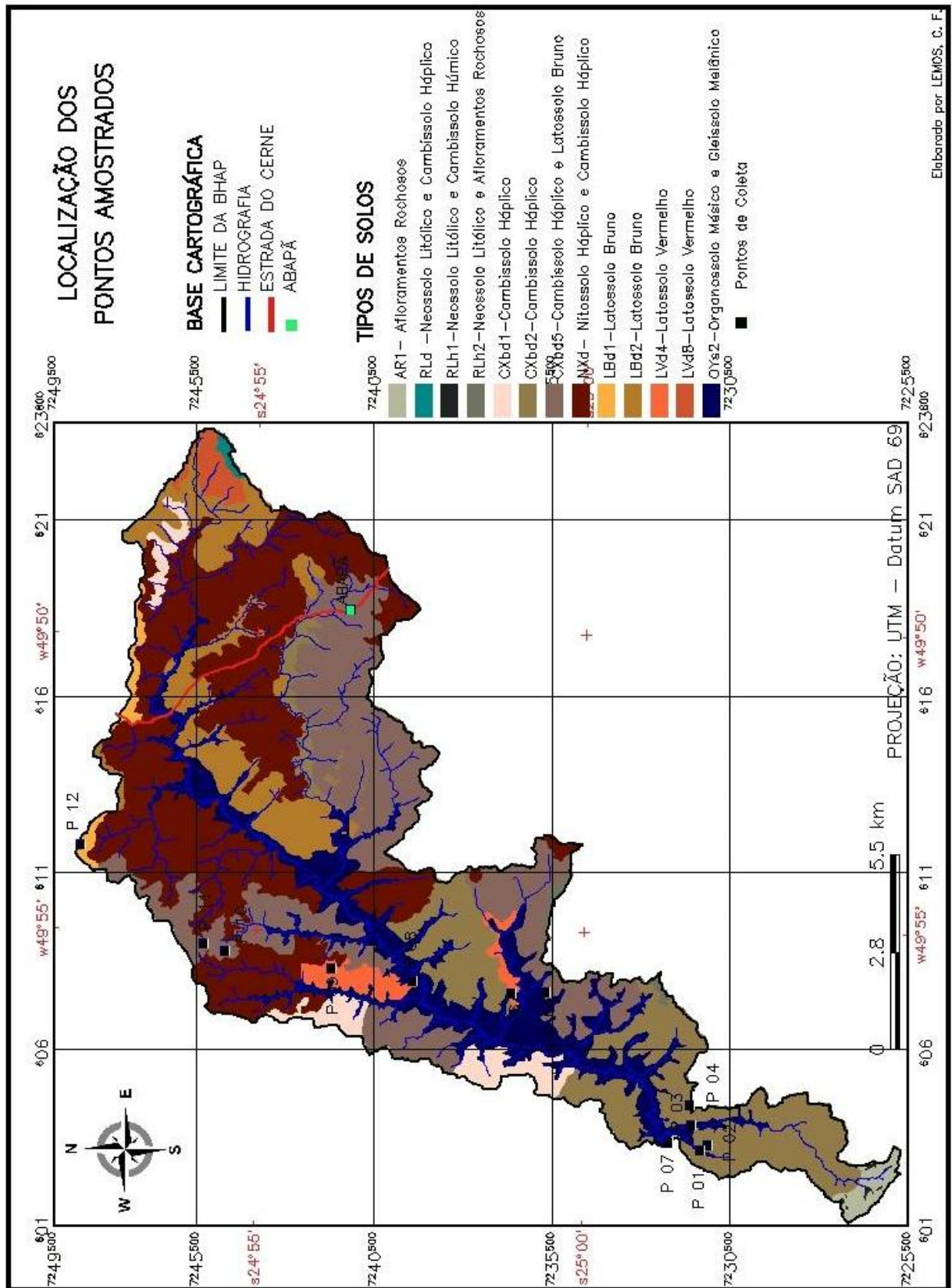


FIGURA 25 – MAPA DA LOCALIZAÇÃO DOS PONTOS DE RETIRADA DAS AMOSTRAS DE SOLOS DA BHAP

#### 4.5.2.2 Ensaios laboratoriais

Os ensaios químicos e de granulometria das amostras coletadas foram realizadas pelo Laboratório de Análises de Solos, pertencente ao curso de Agronomia da Universidade Tecnológica Federal do Paraná – UTFPR/Pato Branco-PR (Anexo 1). As análises físicas, como pesos específicos (grãos, natural, solo seco, solo saturado), teor de umidade, índice de vazios, porosidade, grau de aeração e de saturação, foram executadas no Laboratório de Solos do Curso de Tecnologia em Gerência de Obras, da instituição já mencionada.

O procedimento adotado para essas análises iniciou com as amostras deformadas que, depois de identificadas, foram colocadas em recipiente de porcelana, destorroadas com os dedos e, em seguida, levadas à estufa a 65 °C de temperatura, durante 5 dias. Após a secagem, as amostras foram moídas e peneiradas na malha de 2 mm (Terra Fina Seca em Estufa – TFSE) (Figura 26).



Amostras: P01, P02, P03, P04 (HA), P04 (HB), P05, P06, P07, P08, P09 (HA), P09 (HB), P10, P11 (HA), P11 (HB), P12

FIGURA 26 – AMOSTRAS DE SOLO COLETADAS PARA OS ENSAIOS FÍSICOS

NOTA: As fotos são do estado natural (a), seco em estufa (b) e destorroadado/peneirado (c) dos solos.



Depois de preparadas, as amostras seguiram para a execução dos seguintes ensaios físicos:

- Peso Específico dos Grãos ( $\gamma_g$ ; g.cm<sup>-3</sup>), conforme Fiori e Carmignani (2001).
- Peso Específico Natural ( $\gamma_{nat}$ ; g.cm<sup>-3</sup>) e Umidade do Solo (h,%) – Método do Anel Volumétrico adaptado de EMBRAPA (1997) (Figura 27).



FIGURA 27 – AMOSTRAS DE SOLO COLETADAS EM ANÉIS

NOTA: Amostras em estado natural (a) e seco em estufa (b).

- Peso Específico do Solo Seco ( $\gamma_s$ ; g.cm<sup>-3</sup>):

$$\gamma_s = \frac{\gamma_{nat}}{(1 + h)} \quad \text{Equação 33}$$

- Índice de Vazios ( $\varepsilon$ ):

$$\varepsilon = \frac{\gamma_g}{(\gamma_s)} - 1 \quad \text{Equação 34}$$

- Porosidade ( $\eta$ ):

$$\eta = \frac{\varepsilon}{(1 + \varepsilon)} \quad \text{Equação 35}$$

- Peso Específico Saturado ( $\gamma_{sat}$ ; g.cm<sup>-3</sup>):

$$\gamma_{sat} = (1 - \eta) \times \gamma_g + \eta \times \gamma_a \quad \text{Equação 36}$$

- Grau de Saturação ( $G_s$ ; %):

$$G_s = h \times \frac{\gamma_g}{(\varepsilon \times \gamma_a)} \quad \text{Equação 37}$$

- Grau de Aeração ( $G_A$ ; %):

$$G_A = 1 - G_s \quad \text{Equação 38}$$

Na determinação da erodibilidade foram utilizados os dados de granulometria e porcentagem de matéria orgânica de 26 pontos, sendo 12 (Tabela 9) dos resultados dos ensaios laboratoriais das amostras coletadas e, os outros 14 (Tabela 10), foram obtidos dos trabalhos realizados na região de Ponta Grossa, Carambeí e Castro, por EMBRAPA (1984; 2008), Fasolo *et al.* (2002b), Bognola *et al.* (2002a) e Bognola *et al.* (2002b), devido a dificuldade de acesso às áreas com esses tipos de solos. Esses 14 pontos foram selecionados conforme a semelhança das classes dos solos levantados por esses autores e os existentes na BHAP.

TABELA 9 – PONTOS AMOSTRADOS PARA A DETERMINAÇÃO DA ERODIBILIDADE DOS SOLOS DA BHAP

AMOSTRAS	COORDENADAS UTM		AR (%)	AF (%)	SI (%)	SI + AF < 70	AT (%)	MO (%)	TEXTURA
	X	Y							
P 01 B	603.180	7.231.287	45,20	8,43	30,50	38,93	24,3	0,40	Argilosa
P 02 A	603.173	7.231.235	48,80	9,63	16,80	26,43	34,4	5,09	Argilosa
P 03 B	603.895	7.231.545	19,80	6,40	51,10	57,50	29,1	0,13	Franco Siltosa
P 04 A	604.475	7.231.586	60,50	12,47	19,70	32,17	19,8	3,35	Muito Argilosa
P 04 B	604.475	7.231.586	61,20	11,40	20,70	32,10	18,1	0,80	Muito Argilosa
P 05 B	607.666	7.235.654	62,50	7,06	20,50	27,56	17,0	0,40	Muito Argilosa
P 06 A	607.614	7.236.549	47,00	10,93	20,50	31,43	32,5	0,94	Argilosa
P 07 A	602.231	7.232.270	27,20	20,28	20,80	41,08	52,0	6,97	Franco Argilo-Arenosa
P 08 A	607.947	7.239.318	29,30	11,04	45,70	56,74	25,0	5,90	Franco Argilosa
P 09 A	607.924	7.239.340	48,40	10,29	18,40	28,69	33,2	1,47	Argilosa
P 09 B	607.924	7.239.340	44,70	11,69	17,60	29,29	37,7	0,67	Argilosa
P 10 A	608.339	7.241.710	19,50	12,61	41,10	53,71	39,4	1,74	Franco
P 11 A	609.011	7.245.262	49,30	20,44	18,60	39,04	32,1	2,81	Argilosa
P 11 B	609.011	7.245.262	51,00	18,90	19,00	37,90	30,0	1,07	Argilosa
P 12 A	611.867	7.248.654	57,40	12,47	22,80	35,27	19,8	1,88	Argilosa

NOTA: P = Ponto Amostrado; A = Horizonte A; B = Horizonte B; AR = Argila; AF = Areia Fina; SI = Silte; AT = Areia Total; MO = Matéria Orgânica (1,72 x%C).

TABELA 10 – PERFIS ADOTADOS NO CÁLCULO DA ERODIBILIDADE DOS SOLOS DA BHAP

AMOSTRAS		AR (%)	AF (%)	SI (%)	SI + AF < 70	AT (%)	MO (%)	TEXTURA
PC 119 A	EMBRAPA (1984), p. 666	37,0	15,0	17,0	32,0	46,0	3,54	Franco Argilosa
PC 119 B		39,0	12,0	15,0	27,0	46,0	0,81	Franco Argilosa
PC 120 A	EMBRAPA (1984), p. 667	43,0	15,0	8,0	23,0	49,0	2,30	Argilo Arenosa
PC 120 B		42,0	10,0	23,0	33,0	35,0	0,77	Argilosa
PC 118 A	EMBRAPA (1984), p. 665	54,0	13,0	28,0	41,0	18,0	2,37	Argilosa
PC 118 B		53,0	12,0	29,0	41,0	18,0	1,17	Argilosa
PC 12 A <sub>p</sub>	EMBRAPA (1984), p. 190	59,0	9,0	15,0	24,0	26,0	4,40	Argilosa
PC 12 A <sub>31</sub>		66,0	6,0	15,0	21,0	19,0	3,49	Muito Argilosa
PC 12 A <sub>32</sub>		67,0	7,0	14,0	21,0	19,0	2,79	Muito Argilosa
PC 12 B <sub>1</sub>		69,0	7,0	13,0	20,0	18,0	2,32	Muito Argilosa
PC 20 B	EMBRAPA (1984), p. 209	61,0	12,0	23,0	35,0	16,0	1,36	Muito Argilosa
PC 23 A	EMBRAPA (1984), p. 212	48,0	8,0	21,0	29,0	31,0	6,57	Argilosa
PC 23 B		60,0	6,0	18,0	24,0	22,0	2,22	Argilosa/Muito Argilosa
PC 05 A <sub>p</sub>	BOGNOLA <i>et al.</i> (2002a)	56,0	9,7	12,7	22,4	31,3	3,96	Argilosa
PC 05 AB		62,3	8,7	11,4	20,1	26,3	2,72	Muito Argilosa
PC 05 BA		62,4	8,7	11,6	20,3	26,0	2,34	Muito Argilosa
PC 144 A	EMBRAPA (1984), p. 781	19,0	23,0	19,0	42,0	62,0	6,47	Franco Arenosa
PC 04 A <sub>1</sub>	BOGNOLA <i>et al.</i> (2002a)	20,4	22,0	8,6	30,6	71,00	3,58	Franco Argilo-Arenosa
PC 04 A <sub>2</sub>		22,8	22,8	9,2	32,0	68,00	1,82	Franco Argilo-Arenosa
PC 04 AB		24,7	24,3	8,5	32,8	66,80	1,44	Franco Argilo-Arenosa
PC 04 BA		28,5	24,0	9,6	33,6	61,90	1,20	Franco Argilo-Arenosa
PC 04 A <sub>p</sub>	BOGNOLA <i>et al.</i> (2002b)	20,7	17,0	9,5	26,5	69,8	3,41	Franco Argilo-Arenosa
PC 04 A <sub>2</sub>		20,5	17,6	10,6	28,2	68,9	2,99	Franco Argilo-Arenosa
PC 02 A <sub>p</sub>	FASOLO <i>et al.</i> (2002b)	59,9	7,4	16,0	23,4	24,1	3,80	Argilosa/Muito Argilosa
PC 02 AB		64,1	6,6	15,0	21,6	20,9	2,53	Muito Argilosa
PC 02 BA		66,2	6,2	15,4	21,6	18,4	1,69	Muito Argilosa
PC 04 A <sub>p</sub>	FASOLO <i>et al.</i> (2002b)	43,0	13,9	11,8	25,7	45,20	3,08	Argilosa
PC 04 AB		47,0	14,3	11,1	25,4	41,90	1,77	Argilosa
PC 04 BA		49,0	13,1	12,0	25,1	39,00	1,32	Argilosa
PC 108 A	EMBRAPA (1984), p. 655	48,0	8,0	14,0	22,0	38,0	4,01	Argilosa
PC 108 B		56,0	8,0	14,0	22,0	30,0	1,20	Argilosa
PC 121 A	EMBRAPA (1984), p. 668	51,0	15,0	11,0	26,0	38,0	4,30	Argilosa
PC 121 B		59,0	14,0	9,0	23,0	32,0	1,15	Argilosa

NOTA: PC = Perfil Considerado; A = Horizonte A; B = Horizonte B; AR = Argila; AF = Areia Fina; SI = Silte; AT = Areia Total; MO = Matéria Orgânica (1,72 x%C).

De posse desses dados, foi possível calcular o fator K para cada horizonte ("A" e "B") (Equação 4 e Equação 5, p. 41). Sendo que as variáveis b e c, referentes à estrutura e permeabilidade do solo, foram especificadas de acordo com a textura. Considerou-se a estrutura segundo a facilidade de agregação das partículas; por isso, solos de grãos finos ( $1\text{ mm} < \varnothing < 2\text{ mm}$ ) para solos franco arenosos, franco argilo-arenosos ( $b = 2$ ), grãos médios ( $2\text{ mm} < \varnothing < 10\text{ mm}$ ) para solos argilosos, franco argilosos, argilo-arenosos e franco siltosos ( $b = 3$ ) e grãos grosseiros ( $\varnothing > 10\text{ mm}$ ) para solos muito argilosos ( $b = 4$ ), pois estes tendem a formar torrões de solos. Para a permeabilidade, considerou-se como rápida os solos arenosos ( $c = 1$ ) e muito lentas os solos muito argilosos ( $c = 6$ ) e os demais solos foram considerados conforme a Figura 28.

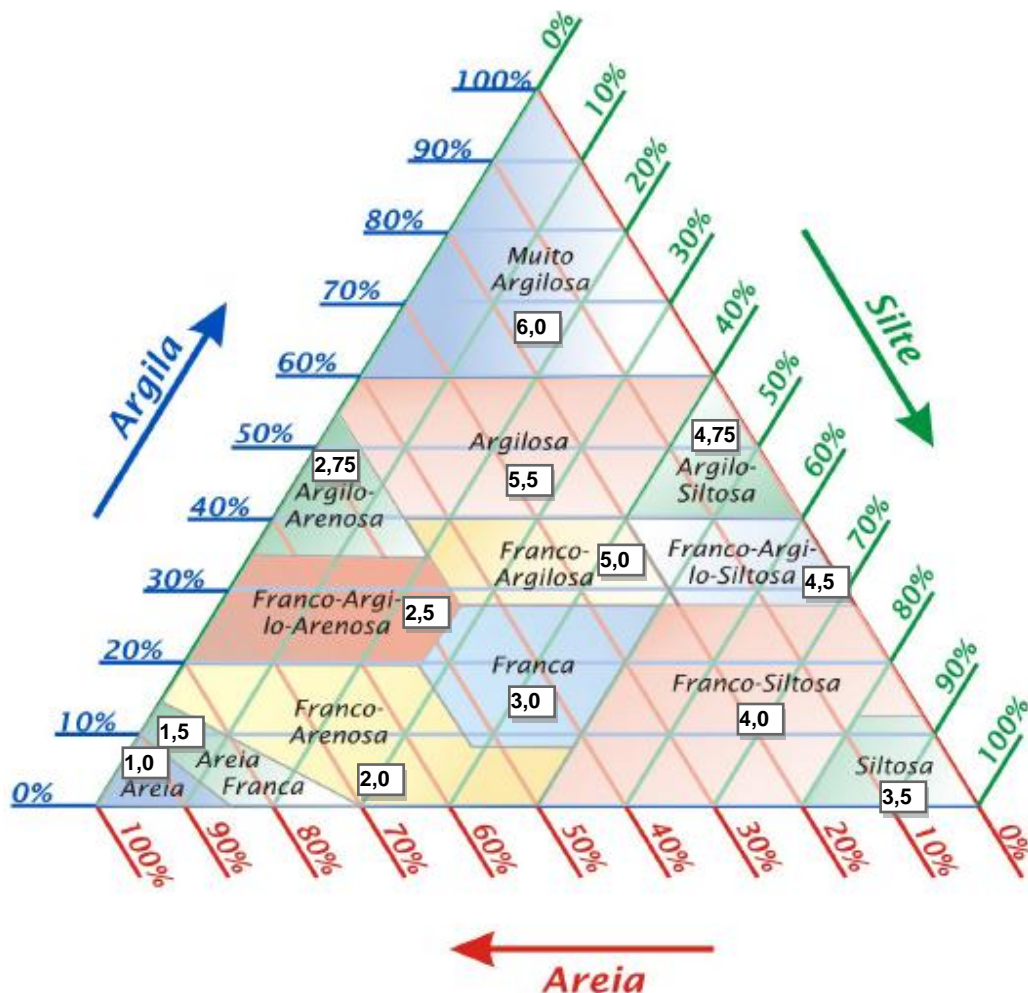


FIGURA 28 – TRIÂNGULO COM AS CLASSES TEXTURAIS E VALORES ADOTADOS PARA A VARIÁVEL REFERENTE À PERMEABILIDADE DO SOLO

FONTE: Adaptado de Falker (2008)

NOTA: – Valores adotados para variável "c", referente à permeabilidade do solo.



Conhecido o fator K dos horizontes "A" e "B", para cada ponto trabalhado, calculou-se o  $K_{\text{médio}}$  para os solos existentes na área de estudo, por meio da média aritmética desses horizontes por tipo de solos.

Em seguida, esses valores foram atribuídos às áreas pertencentes ao tipo de solo, por meio do programa em linguagem LEGAL (Apêndice 2 – Programa 2, p. 184), que criou uma Categoria (MNT) e um PI formado por uma grade retangular com os valores do Fator K, na resolução de 5 x 5 m, para ser utilizado na EUPS. Os valores do fator K foram classificados conforme Carvalho (2008) (Tabela 4, p. 43).

#### 4.5.3 Determinação do Comprimento de Rampa e Declividade – Fator LS

A grade de declividade (em % e resolução de 5 x 5 m) foi gerada a partir da grade retangular, obtida pela grade TIN originada das curvas de nível, e o comando Declividade. Com a grade de declividade e utilizando o comando Fatiamento foram gerados diferentes intervalos de declive. O critério usado para os intervalos de declividade foram de acordo com as classes de relevo adotadas pela EMBRAPA (2006) (Tabela 11).

TABELA 11 – CLASSES DE RELEVO CONFORME A DECLIVIDADE

CLASSES DE RELEVO	DECLIVIDADES
Plano	< 3%
Suave Ondulado	3 a 8%
Ondulado	8 a 20%
Forte Ondulado	20 a 45%
Montanhoso	45 a 75%
Escarpado	> 75%

Fonte: EMBRAPA (2006)

As fatias de declividade, associadas com as classes criadas na categoria temática, geraram um PI de declividade vetorial (polígonos e classes), em seguida recortou-se para área da bacia, resultando no mapa de declividades (Figura 29).

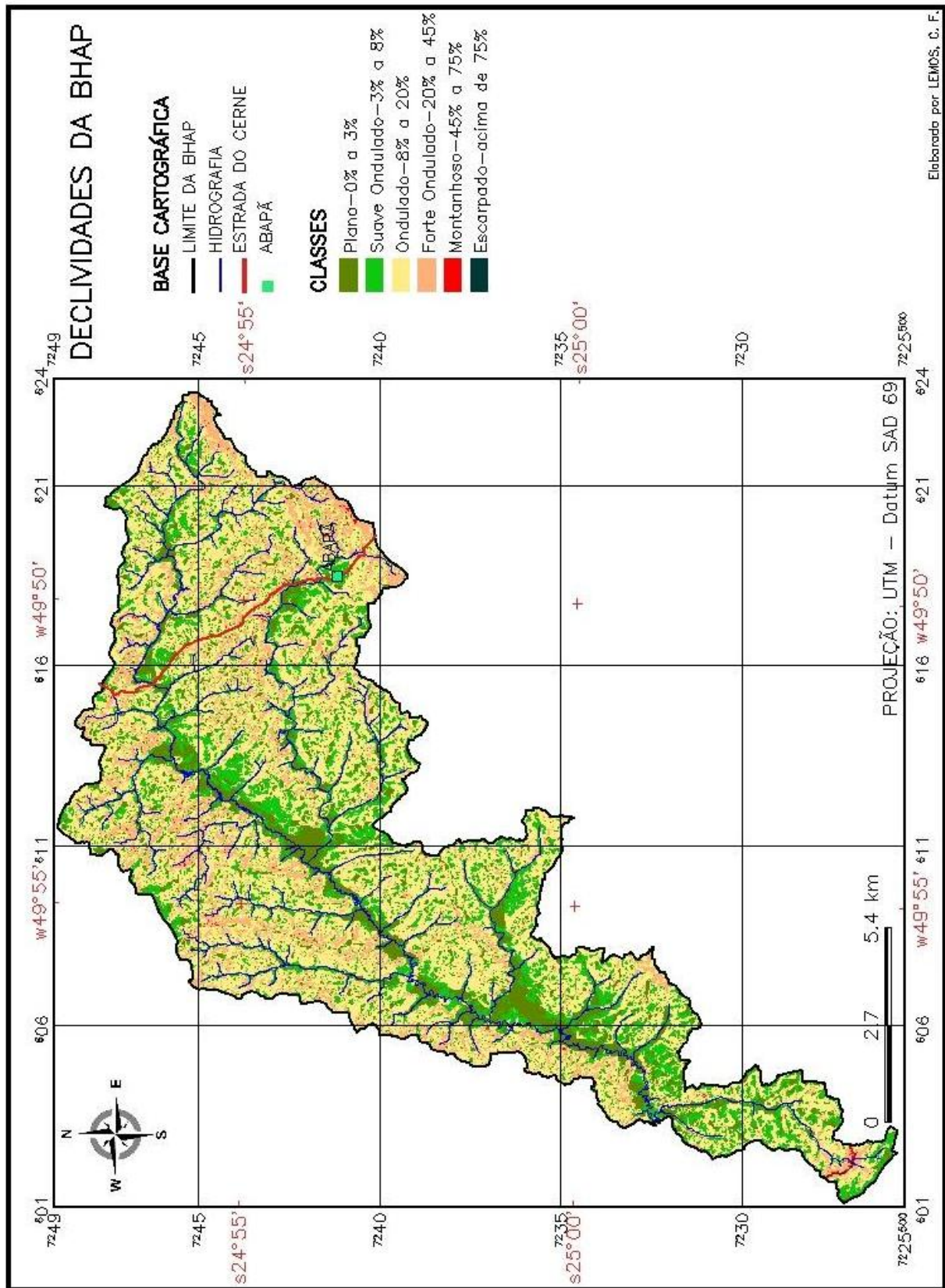


FIGURA 29 – MAPA DE DECLIVIDADE DA BHAP

Para o comprimento de rampa foram traçados todos os divisores de água, principais e secundários, existentes na área de estudo, considerando o valor de  $Z = 0$ , pois o curso das águas de chuva inicia-se no divisor e vai até o rio. Em seguida, com o comando Mosaico uniram-se os Pls divisores e rede de drenagem, definidos como linha cotada e linha de quebra, respectivamente, tendo, assim, o arquivo com os dados do caminho preferencial da água. De forma automática, por meio do comando Mapa de Distâncias e a seleção dos divisores, gerou-se a grade com os comprimentos de rampa, na resolução de 5 x 5 m (Figura 30).

Na determinação desse comprimento, levou-se em conta apenas a encosta natural, ou seja, não foi considerado qualquer tipo de obstáculo que interferisse no fluxo de água, como capoeiras, práticas conservacionistas de manejo ou lagos.

Na integração da declividade (D) com o comprimento de rampa (C), foi utilizada a Equação 8, por meio da linguagem LEGAL (Apêndice 2 – Programa 3, p. 185) e o intervalo adotado para o fator LS foi baseado em Fornelos e Neves (2007), (Tabela 5, p. 44).

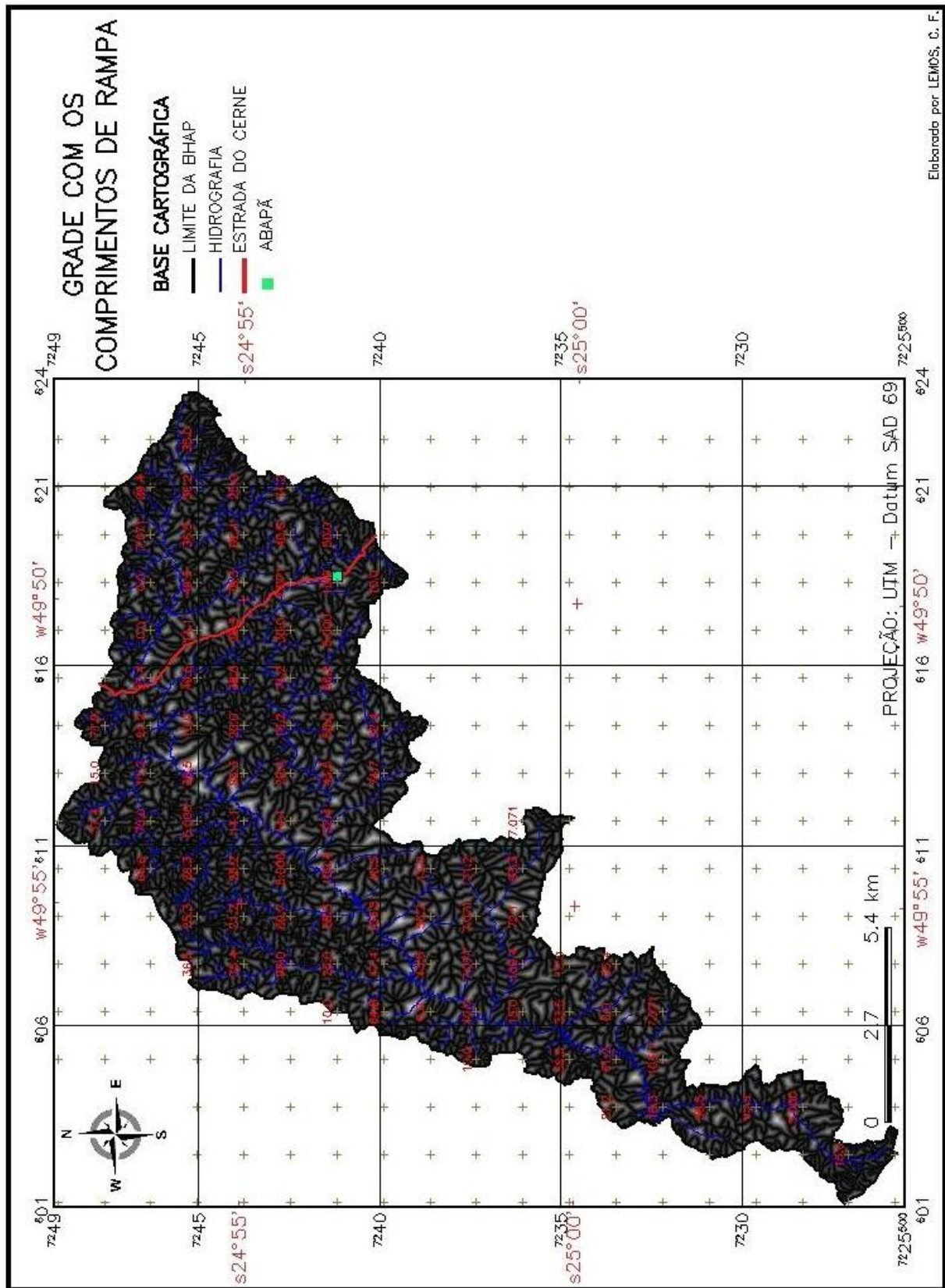


FIGURA 30 – MAPA DA GRADE COM OS COMPRIMENTOS DE RAMPA DA BHAP

#### 4.5.4 Determinação do Uso e Ocupação do Solo – Fator C

O fator referente ao uso e ocupação do solo derivou-se do plano de informação MAPA\_USO\_OCUPAÇÃO, sendo atribuído os valores sugeridos por Costa *et al.* (2005) (Tabela 6, p. 45), por meio da linguagem LEGAL (Apêndice 2 – Programa 4, p. 186), resultando nas grades do fator C, para os períodos de 1961 a 1984, de 1985 a 1995, de 1996 a 2002 e de 2003 a 2007, na resolução de 5 x 5 m.

#### 4.5.5 Determinação das Práticas Conservacionistas – Fator P

Com relação a práticas conservacionistas, o Paraná foi um dos estados precursores dessa idéia. Desde o ano de 1975, com o surgimento do programa de implementação de práticas de terraceamento e plantio em curva de nível, conhecido como Programa Integrado de Conservação dos Solos, os produtores agrícolas do Paraná vem tentando reverter o processo de degradação dos recursos naturais renováveis no Estado (OLIVEIRA, 2008).

Por meio das fotos de 1980, foi possível verificar que na região da BHAP já se implementava as práticas de terraceamento e plantio em curva de nível. Por isso, os valores do fator P (Tabela 7, p. 47) foram atribuídos ao plano de informação MAPA\_USO\_OCUPAÇÃO, por meio da associação dos grupos de uso e ocupação criados na classificação das imagens de satélites, conforme as seguintes classes: presença de práticas conservacionistas (campos e pastagens, áreas cultivadas e reflorestamentos), ausência de práticas conservacionistas (solo exposto úmido e solo exposto seco), áreas encharcadas (lâminas de água e áreas encharcadas) e vegetação permanente (vegetação primária e vegetação secundária). Essa atribuição de valores foi realizada utilizando a linguagem LEGAL (Apêndice 2 – Programa 5, p. 187), resultando nas grades de 5 x 5 m do fator P, para os períodos de 1961 a 1984, de 1985 a 1995, de 1996 a 2002 e de 2003 a 2007.

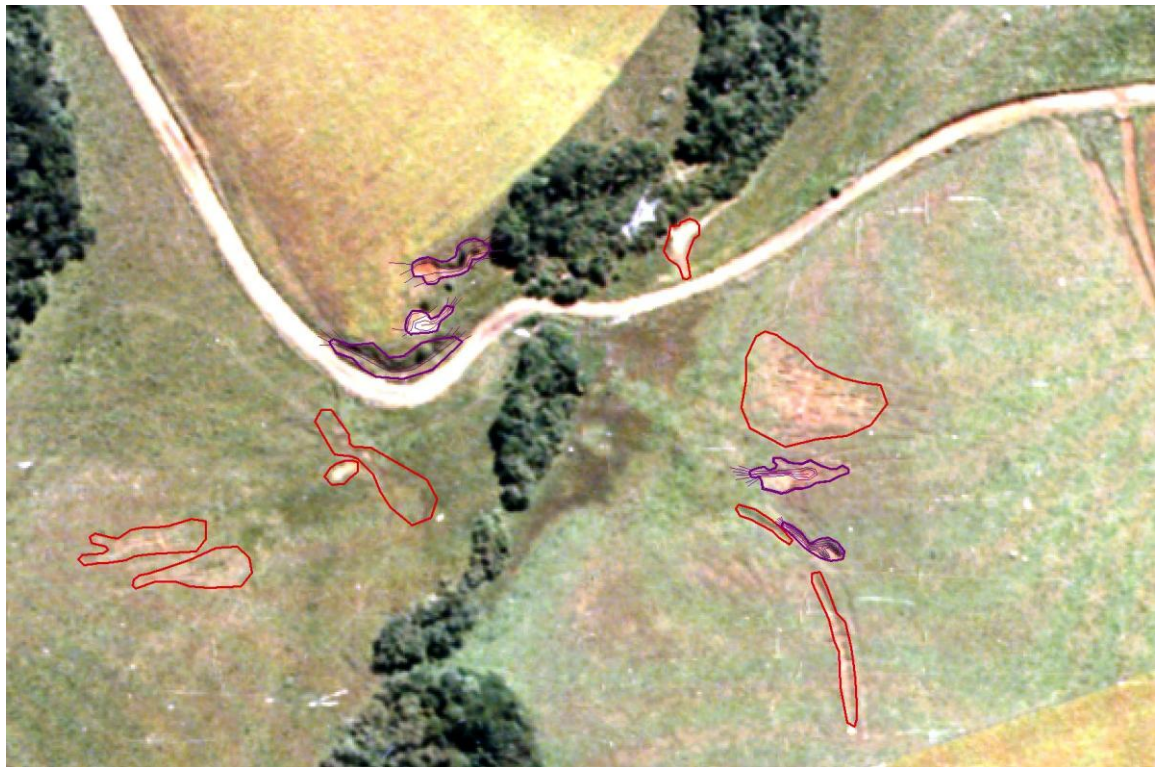
### 4.6 EROSÕES EM SULCOS OU CONCENTRADAS

A estimativa da evolução das erosões concentradas, mais importantes, foi calculada por meio das variações ocorridas nas áreas e volumes das grandes ravinas e voçorocas, identificadas em fotografias aéreas.



As voçorocas e ravinas consideradas, nessa etapa do estudo, foram as denominadas ativas, ou seja, foram as feições erosivas concentradas que sofrem ação das águas subterrâneas e superficiais e influência antrópicas, no estágio atual de seu desenvolvimento (SOBREIRA, 2000).

Os traçados das voçorocas e grandes ravinas foram realizados sobre os pares das fotografias aéreas, para cada período analisado, utilizando-se o estereoscópio de bolso com oculares de ampliação de 3x. Na sequência, esses traçados foram transferidos para o PI denominado VOÇOROCAS\_RAVINAS (TE), utilizando-se como base, as imagens da bacia formadas pelas fotos aéreas de 1952, 1980 e 2001 e ortofotocarta de 2001 (Figura 31).



LEGENDA:                      — Voçorocas                      — Ravinas

FIGURA 31 – DETALHE MOSTRANDO O TRAÇADO DAS VOÇOROCAS E RAVINAS NA FOTO AÉREA DA BHAP PARA O ANO DE 2001

NOTA: COORDENADAS: UTM – 603.104, 7.231.346 e GEOGRÁFICA – 25°01'48" S, 49°58'41" W.

Após as delimitações das áreas, foram traçadas as curvas de nível dentro de cada voçoroca. Para 2001, foi usado, como parâmetro, as medidas das profundidades obtidas em campo (Figura 32) e, para os anos de 1952 e 1980, as profundidades foram estimadas com base nos traçados de 2001 e nas fotos aéreas do respectivo ano.

DETALHE DA CABECEIRA DA VOÇOROCA



COORDENADAS: UTM – 603.159, 7.231.268 e GEOGRÁFICA – 25°01'50" S, 49°58'39" W.



Fotos tiradas do meio da voçoroca, olhando para parte inferior e superior

COORDENADAS: UTM – 603.161, 7.231.296 e GEOGRÁFICA – 25°01'49" S, 49°58'39" W.



COORDENADAS: UTM – 604.119, 7.231.600 e GEOGRÁFICA – 25°01'39" S, 49°58'05" W.



COORDENADAS: UTM – 603.860, 7.231.533 e GEOGRÁFICA – 25°01'41" S, 49°58'14" W.



COORDENADAS: UTM – 603.005, 7.231.290 e GEOGRÁFICA – 25°01'50" S, 49°58'45" W.

FIGURA 32 – EXEMPLOS DE VOÇOROCAS ENCONTRADAS NA ÁREA DA BHAP



As curvas de nível traçadas foram gravadas na categoria MNT, denominada de CURVAS\_VOÇOROCAS, em que se gerou uma grade retangular de  $X = 5 \text{ m}$  e  $Y = 5 \text{ m}$ , utilizando interpolador vizinho mais próximo.

As áreas das voçorocas e ravinas foram obtidas da categoria VOÇOROCAS\_RAVINAS, menu TEMÁTICO e comando Medidas de Classes. A profundidade média, de cada voçoroca, foi estimada por meio da mesma categoria, menu Ferramentas, comando Estatísticas de Imagens, selecionando-se a grade obtida no PI CURVAS\_VOÇOROCAS (MNT) e o polígono formado pela voçoroca.

Observou-se, por meio dos trabalhos de campo, que as ravinas existentes na área de estudo são oriundas do pisoteio de gado e que a profundidade é 0,30 a 0,50 m (Figura 33), pois acima desses valores, o gado cria um novo caminho. Portanto, estimou-se uma profundidade média de 0,40 m para as ravinas.



COORDENADAS: UTM – 606.524, 7.233.011 e GEOGRÁFICA – 25°00'53" S, 49°56'40" W.



COORDENADAS: UTM – 612.017, 7.244.187 e GEOGRÁFICA – 24°54'48" S, 49°53'27" W.



COORDENADAS: UTM – 618.2557, 7.241.097 e  
GEOGRÁFICA – 24°56'27" S, 49°49'437" W.

COORDENADAS: UTM – 603.860, 7.231.533 e  
GEOGRÁFICA – 25°01'41" S, 49°58'14" W.

FIGURA 33 – EXEMPLOS DE RAVINAS ENCONTRADAS NA ÁREA DA BHAP



Com as profundidades médias e as áreas das voçorocas e das ravinas traçadas, foi possível estimar o volume das mesmas. Pela diferença entre o volume total das voçorocas e ravinas para 1952 e 2001, foi possível obter o volume de sedimentos produzidos pelas feições erosivas concentradas durante esses 49 anos.

#### 4.7 REDE DE DRENAGEM

Nessa fase de estudo, o levantamento dos dados referentes à rede de drenagem da BHAP foi realizado por meio de fotointerpretação para duas épocas distintas (1952 e 2001), com auxílio da fotointerpretação do ano de 1980, e cálculos das equações apresentadas no item 3.3 PARÂMETROS MORFOMÉTRICOS DA REDE HIDROGRÁFICA (Equação 9 a Equação 24, da p. 53 a 57).

Procurou-se, por meio dessas fotos digitais, delinear a rede de drenagem e observar a existência de alterações no seu traçado, devido às atividades antrópicas. As alterações foram confirmadas por meio da verificação dos pares de fotos aéreas, utilizando-se o estereoscópio de bolso, com lentes de aumento de 3x.

A área da bacia foi delimitada pelo traçado realizado no meio dos interflúvios; os comprimentos das bacias foram por meio de uma linha reta, lançada sobre o canal principal, com origem na foz e término no ponto mais elevado da linha divisora de água; e a altura da bacia pela diferença de altitude entre esses dois pontos.

Os dados vetoriais, referentes à hidrografia, foram hierarquizados conforme o método de Strahler (GLEYZER *et al.*, 2004; PIDWIRNY, 2006). A numeração foi iniciada pelas nascentes, com a denominação de canais de 1.<sup>a</sup> ordem, na junção destes, os de 2.<sup>a</sup> ordem e, assim, sucessivamente até a 7.<sup>a</sup> ordem, referente ao último segmento de canal, na foz do rio Pitangui com a represa de Alagados.

Essa hierarquização foi realizada no ArcView, sendo o arquivo salvo no formato shp, convertido para ASCII do SPRING e importado para categoria temática denominada MAPA\_HIDROGRAFICO, por meio da entidade Linha com Ajuste (TE). Passou-se, a seguir, para identificação visual das classes, com tons de azul e espessura das linhas e para verificação das anomalias e lineamentos existentes na rede de drenagem.

Após a ordenação dos canais de drenagem, foram levantados a área da bacia ( $A_B$ ), os números de segmentos de canais ( $n_i$ ) e seus comprimentos ( $L_i$ ) por ordem hierárquica ( $i$ ) e, também, outras características físicas, como o perímetro da bacia

( $P_B$ ), através da ferramenta Operações Métricas do SPRING 5.0 e o *software* ArcView 3.2. Todos os cálculos necessários para a obtenção dos elementos da bacia foram realizados no *software* Excel 2007.

#### 4.8 ASSOREAMENTO DA REPRESA

O método adotado para o cálculo da previsão do volume de sedimentos retidos na represa de Alagados, no período de 1961 a 2007, considerando-se apenas a contribuição da BHAP, foi realizado por meio da equação apresentada no item 3.4 – ASSOREAMENTO (Equação 25, p. 59).

Primeiramente, determinou-se o aporte de sedimentos ( $A_S$ ) que alcança o exutório da bacia (Equação 26, p. 59), sendo considerados: os valores anuais das médias estimadas para a perda de solos por erosão laminar ( $P_S$ ) e o volume de sedimentos produzidos pelas voçorocas e ravinas, conforme os itens 4.5 EROSÃO ENTRE-SULCOS OU LAMINAR e 4.6 EROSÕES EM SULCOS OU CONCENTRADAS; o coeficiente SDR adquirido pela média dos valores encontrados nas equações apresentadas no Quadro 1, p. 60, com a Equação 27, p. 61 e Equação 28, p. 61; e a área da BHAP de 16.353,70 ha.

Para a determinação do volume de sedimentos retidos na represa ( $S_R$ ), calculou-se a eficiência de retenção de sedimento efluente ( $E_R$ ), sendo considerados: o método de Churchill (Equação 29, p. 63 e a Equação 30, p.63), por ser a represa de Alagados de pequeno porte; o volume do reservatório de 27,7 milhões de  $m^3$  de água; a vazão média de  $9,5 m^3.s^{-1}$ ; o comprimento de 10.700 m; e o valor da aceleração da gravidade de  $9,815 m.s^{-2}$  (UEPG, 2002). Adotou-se, ainda,  $1,45 t.m^{-3}$  como valor do peso específico aparente médio dos depósitos ( $\gamma_d$ ), por ser a areia o material predominante que fica depositado no fundo dos pequenos reservatórios, conforme recomendação de Carvalho (2000a).

No cálculo da taxa de denudação do solo foi utilizada a Equação 32, p. 65, sendo considerado como peso específico aparente do solo ( $\gamma_{nat}$ ) igual a  $1,66 t.m^{-3}$ , obtido pela média dos pesos específicos naturais das 12 amostras coletadas na BHAP, cujo valor é próximo do sugerido por Carvalho (2008); área da bacia em  $m^2$  e o valor do aporte de sedimentos, calculado anteriormente. A altura total do solo desgastado foi obtida pela multiplicação da altura média e o total de anos.

## CAPÍTULO 5

### RESULTADOS E DISCUSSÕES

#### 5.1 ANÁLISE MULTITEMPORAL DO USO E OCUPAÇÃO DO SOLO

A classificação das imagens de satélites resultou nos mapas de uso e ocupação do solo para períodos avaliados de 1961 a 1984, de 1985 a 1995, de 1996 a 2002 e de 2003 a 2007 (Figura 34 e Figura 35).

Resumidamente, os dados obtidos dessas classificações estão apresentados em forma de tabela (Tabela 12).

TABELA 12 – DADOS DA CLASSIFICAÇÃO DAS IMAGENS DE SATÉLITES DA BHAP

USO E OCUPAÇÃO	1984		1995		2002		2007	
	km <sup>2</sup>	(%)	km <sup>2</sup>	(%)	km <sup>2</sup>	(%)	km <sup>2</sup>	(%)
Lâminas de Água	0,556	0,34	1,790	1,09	1,402	0,86	0,855	0,52
Solo Exposto Seco	9,541	5,83	14,650	8,96	9,146	5,59	12,543	7,67
Solo Exposto Úmido	8,634	5,28	19,210	11,75	4,418	2,70	10,449	6,39
Vegetação Primária	13,239	8,10	13,025	7,96	15,276	9,35	4,601	2,81
Vegetação Secundária	33,251	20,33	41,778	25,55	41,134	25,15	38,101	23,30
Reflorestamentos	22,962	14,04	13,611	8,32	20,492	12,53	14,677	8,97
Campos e Pastagens	25,579	15,65	24,784	15,15	37,016	22,63	31,642	19,35
Áreas Encharcadas	37,456	22,90	23,667	14,47	17,478	10,69	37,849	23,15
Áreas Cultivadas	12,319	7,53	11,022	6,75	17,175	10,50	12,820	7,84
<b>TOTAL</b>	<b>163,537</b>	<b>100</b>	<b>163,537</b>	<b>100</b>	<b>163,537</b>	<b>100</b>	<b>163,537</b>	<b>100</b>

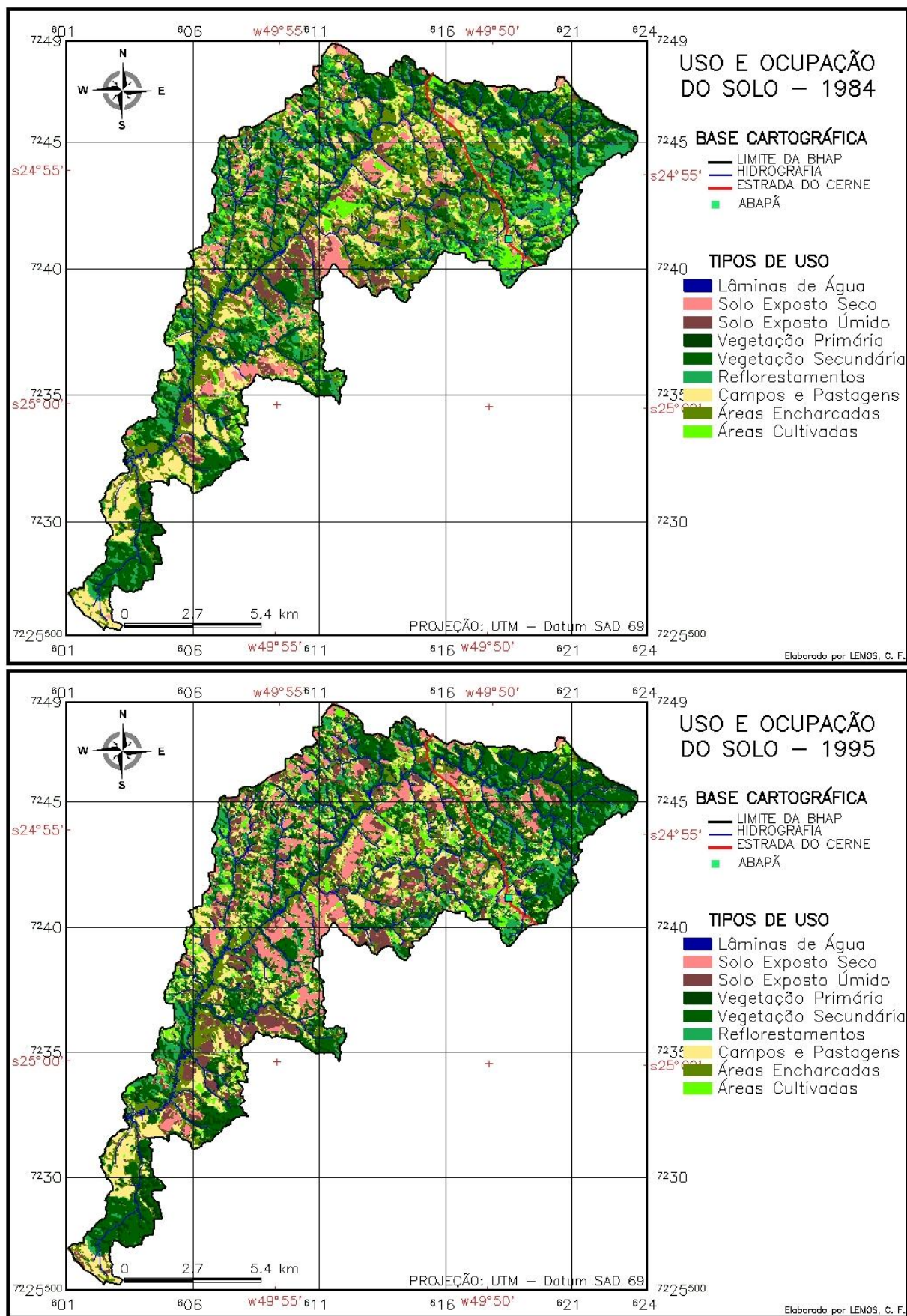


FIGURA 34 – MAPA DE USO E OCUPAÇÃO DO SOLO EM 1984 E 1995 NA BHAP

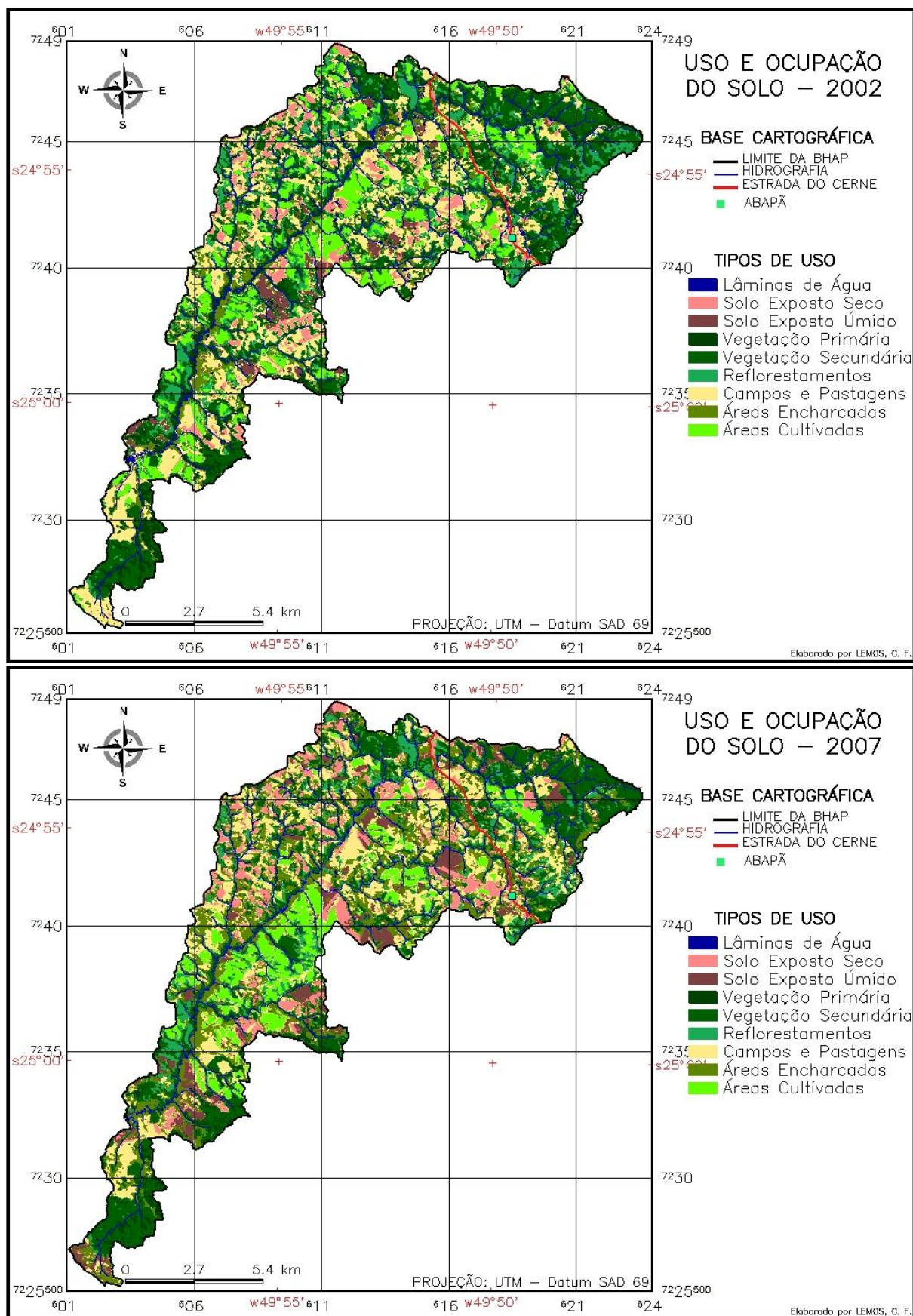


FIGURA 35 – MAPA DE USO E OCUPAÇÃO DO SOLO EM 2002 E 2007 NA BHAP



Para melhor visualização das mudanças ocorridas nos períodos avaliados, foram transferidas as porcentagens das áreas obtidas em cada tema classificado para gráficos do tipo pizza (Figura 36).

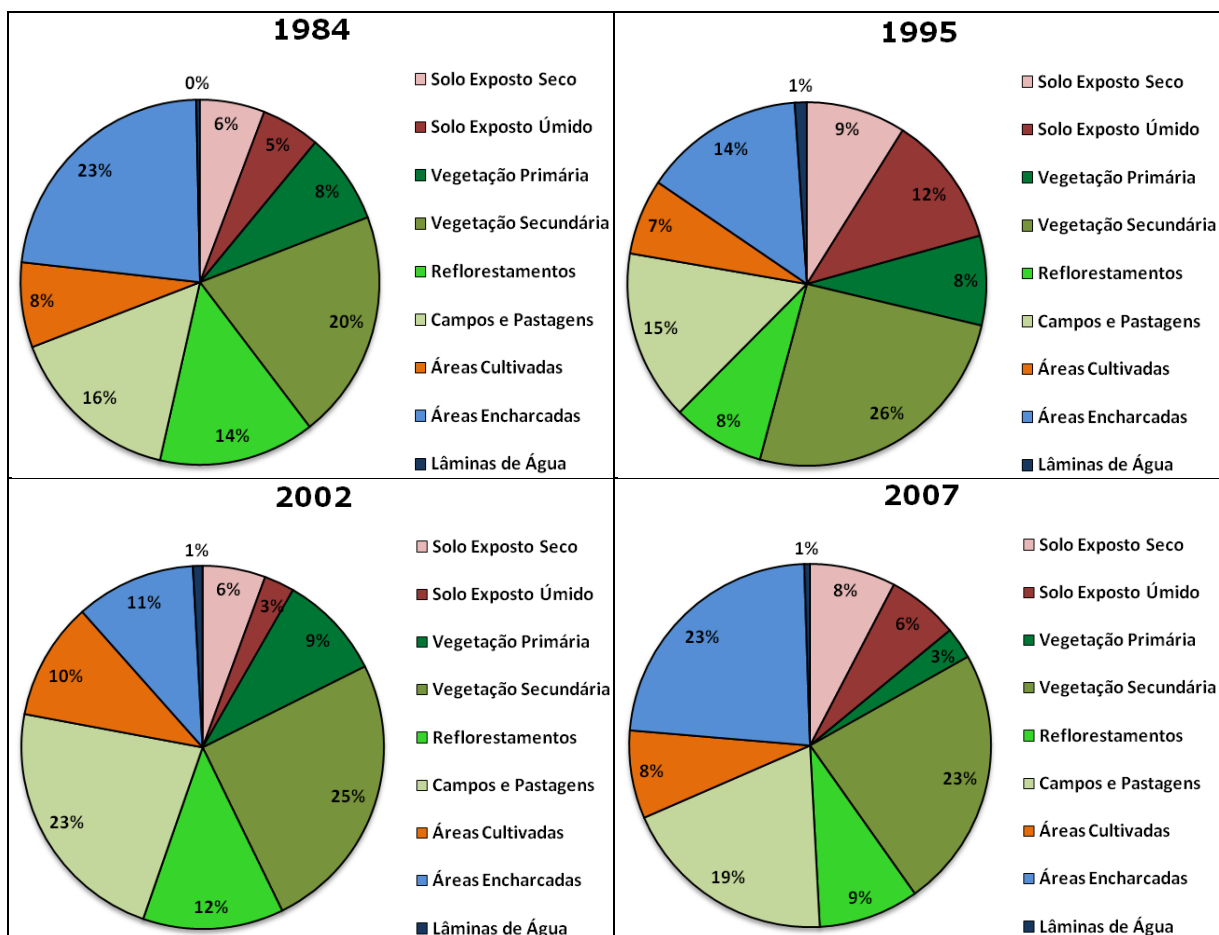


FIGURA 36 – GRÁFICOS COM AS PORCENTAGENS DAS ÁREAS DE USO E OCUPAÇÃO DO SOLO NA BHAP

Verificou-se que a vegetação primária (florestas) manteve-se praticamente constante no período de 1984 a 2002, aproximadamente 8% da área total da bacia, e que de 2002 a 2007 diminuiu consideravelmente, ficando apenas com 3% de florestas. E, também, que a vegetação secundária (matas) aumentou 5% no período de 1984 a 1995, passando de 20 para 26% da área, mas que, no período de 1996 a 2007, a área decresceu em 3%.

Com relação ao reflorestamento, observa-se certo ciclo, em que nos períodos de ápice a área ficou com 14% e 12% para os anos de 1984 e 2002 e nos anos de 1995 e 2007 caiu para 8% e 9%, respectivamente.

Ciclo semelhante ocorreu nas áreas destinadas ao cultivo, que em 1984 era de 8%, ocorrendo uma leve caída para 7% em 1995, tornando a subir em 2002 para

10% e retornando para 8% em 2007. Nas áreas de campos e pastagens evidencia-se a mesma situação, em que no ano de 1984 era de 16%, caindo para 15% em 1995, subindo para 23% em 2002 e declinando para 19% em 2007.

Os solos expostos úmidos e secos estão atrelados à data da colheita dos plantios anuais, que pode ter sido realizada próxima à aquisição das imagens de satélites ou não. Portanto, o solo exposto possui umidade maior logo após a retirada do cultivo e, com o passar do tempo, o solo vai se tornando mais seco superficialmente, devido a sua exposição ao sol e calor.

Ao se avaliar os solos expostos, percebe-se que há um ciclo inverso do reflorestamento, ou seja, começa em 1984 com 18,64% da área, aumenta em 1995 para 27,45%, retorna em 2002 para 18,79% e cresce novamente em 2007 para 21,9%.

## 5.2 DETERMINAÇÃO DA EROÇÃO ENTRE-SULCOS OU LAMINAR NA BHAP

### 5.2.1 Fator R

Com os dados existentes nas estações pluviométricas pesquisadas, chegou-se às médias de precipitação anual de 1.575,3 mm; 1.451,43 mm; 1.685,23 mm e 1.353,45 mm, para os períodos entre 1961 a 1984, de 1985 a 1995, de 1996 a 2002 e de 2003 a 2007 (Tabela 13).

As médias encontradas estão dentro da faixa de 1.300 a 1.700 mm, aproximadamente 100 mm a mais da margem do desvio padrão da precipitação total anual para esta região, mencionada por Cruz (2007). Com essas médias, identificou-se o período mais chuvoso em 2002 e o menos chuvoso em 2007.

Percebeu-se, também, que a precipitação decresce no sentido leste-oeste, tomando-se como exemplo as estações de Socavão e Castro que apresentaram o maior (2.364,27 mm) e o menor (663,25 mm) valor de precipitação anual (Figura 37). Esta característica é verificada para o estado do Paraná (SAMPAIO *et al.*, 2007).

TABELA 13 – DADOS DA MÉDIA ANUAL DE PRECIPITAÇÃO NOS PERÍODOS AVALIADOS

<b>ESTAÇÕES</b>	<b>P<sub>1984</sub></b>	<b>P<sub>1995</sub></b>	<b>P<sub>2002</sub></b>	<b>P<sub>2007</sub></b>
ABAPÃ	1.500,87	1.160,09	1.619,96	1.425,93
AÇUNGUI	1.832,81	2.007,22	---	---
APARIÇÃO	1.624,59	1.582,31	1.842,77	---
BOCAINA	1.487,74	1.298,25	1.686,29	1.421,43
BOQUEIRÃO	1.639,27	1.605,71	1.989,27	---
CAPÃO ALTO	1.553,28	1.283,18	---	---
CASTRO	1.625,24	1.364,66	1.242,84	663,25
CATANDUVA	1.579,64	1.466,61	1.767,99	1.399,80
CAXAMBU	1.293,57	1.369,67	---	---
CHÁCARA	2.019,80	1.323,06	1.686,09	1.344,45
ENG. LEITÃO	1.585,60	1.420,82	1.553,67	1.235,35
ERVALZINHO	1.513,49	1.437,99	1.732,17	1.424,58
GUARAGI	1.564,69	1.452,95	1.777,00	---
GUARAREMA	1.669,73	1.487,07	1.825,57	---
IAPÓ	1.721,97	1.540,23	1.654,29	1.549,13
ITAIACOCA	1.602,87	1.541,07	1.803,24	1.518,63
MANOEL RIBAS	1.334,94	1.174,85	1.609,33	1.227,50
MATO QUEIMADO	1.528,05	1.370,29	---	---
PEDRAS	1.710,60	1.554,65	2.071,53	---
PINHEIRINHO	1.610,13	1.274,95	1.531,49	1.338,73
PIRIQUITOS	1.497,23	1.386,75	1.934,77	---
PONTA GROSSA	1.452,65	1.555,95	---	---
SANTA CRUZ	1.576,08	1.491,25	1.689,81	1.353,45
SANTA MARIA	1.530,61	1.431,21	---	---
SÃO JORGE	1.419,58	1.238,18	---	---
SEBASTIÃO	1.377,13	1.382,33	1.519,90	1.208,63
SILVESTRE	1.568,48	1.557,31	---	---
SOCAVÃO	2.113,92	2.364,27	1.832,49	1.664,75
TABOR	1.414,27	1.269,23	1.587,80	1.352,58
TRÊS CÓRREGOS	1.386,96	1.368,09	1.694,57	1.423,15
UVAIA	1.499,47	1.234,00	1.107,40	1.457,28
<b>MÉDIAS</b>	<b>1.575,33</b>	<b>1.451,43</b>	<b>1.685,23</b>	<b>1.353,45</b>

NOTA: P<sub>ANO</sub> = é a média da precipitação anual no período avaliado (mm.ano<sup>-1</sup>).



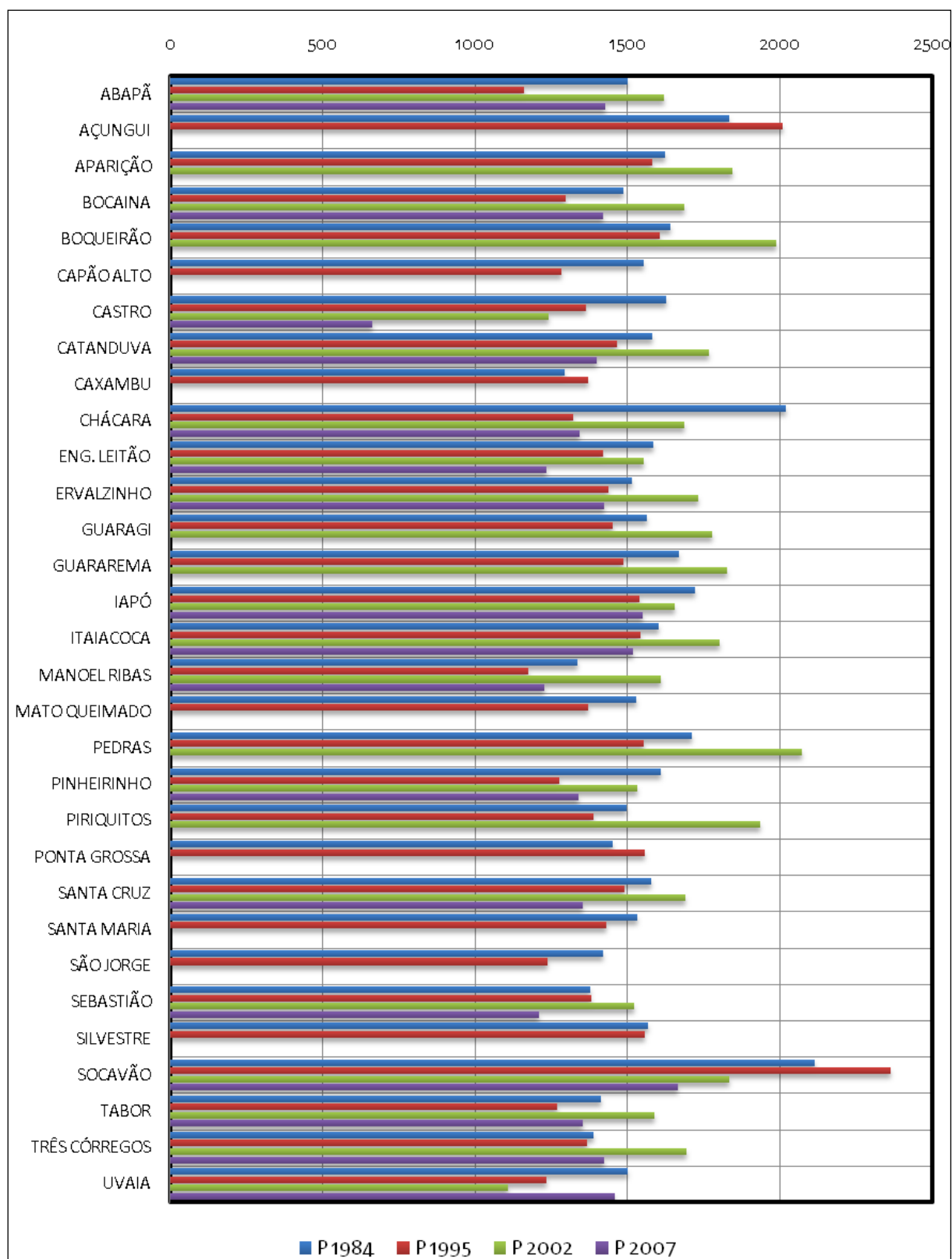


FIGURA 37 – GRÁFICO DAS PRECIPITAÇÕES NOS PERÍODOS ANALISADOS

NOTA: P<sub>ANO</sub> – Precipitação Média Anual (mm.ano<sup>-1</sup>).

Após gerar os arquivos no SPRING, com os dados da média anual da pluviometria regional, recortar a área da bacia e gerar os mapas com as isoietas equidistantes a 25 mm de precipitação (Figura 38 e Figura 39), analisou-se as variações existentes na distribuição das chuvas, dos períodos avaliados.

Com os mapas das isoietas para BHAP verificou-se que no período denominado de 1984, a variação nas isoietas foi de 1.550 a 1.675 mm; em 1995, foi entre 1.200 a 1.500 mm; em 2002, de 1.500 a 1.800 mm; e, em 2007, ficou entre 1.125 a 1.500 mm. Portanto, a variação encontrada para todo período foi de 1.125 mm a 1.800 mm. Observou-se, também, que a maior variação pluviométrica encontrada foi no período de 2007, com 375 mm, seguida pelos períodos de 2002 e 1995 com 300 mm e, por último, em 1984, com 125 mm de diferença de uma região para outra, dentro da BHAP.

Constatou-se que o aumento na quantidade de precipitação ocorreu com predomínio da direção leste-oeste para os períodos de 1984 e 1995 e da direção norte-sul para 2002 e 2007.

As precipitações médias anuais encontradas para BHAP, para os períodos analisados, foram de 1.548,42 mm, 1.323,27 mm, 1.656,05 mm e 1.376,39 mm, respectivamente. Observou-se, assim, que o período com o menor índice pluviométrico foi em 1995 e o com a maior pluviometria foi em 2002.

Os maiores índices pluviométricos, nos quatro períodos analisados, ocorreram na região nordeste da bacia, onde está localizada a nascente do rio Pitangui. Local com a maior altitude da região (cotas acima de 1.000 m) e o sentido das entradas de massa de ar.

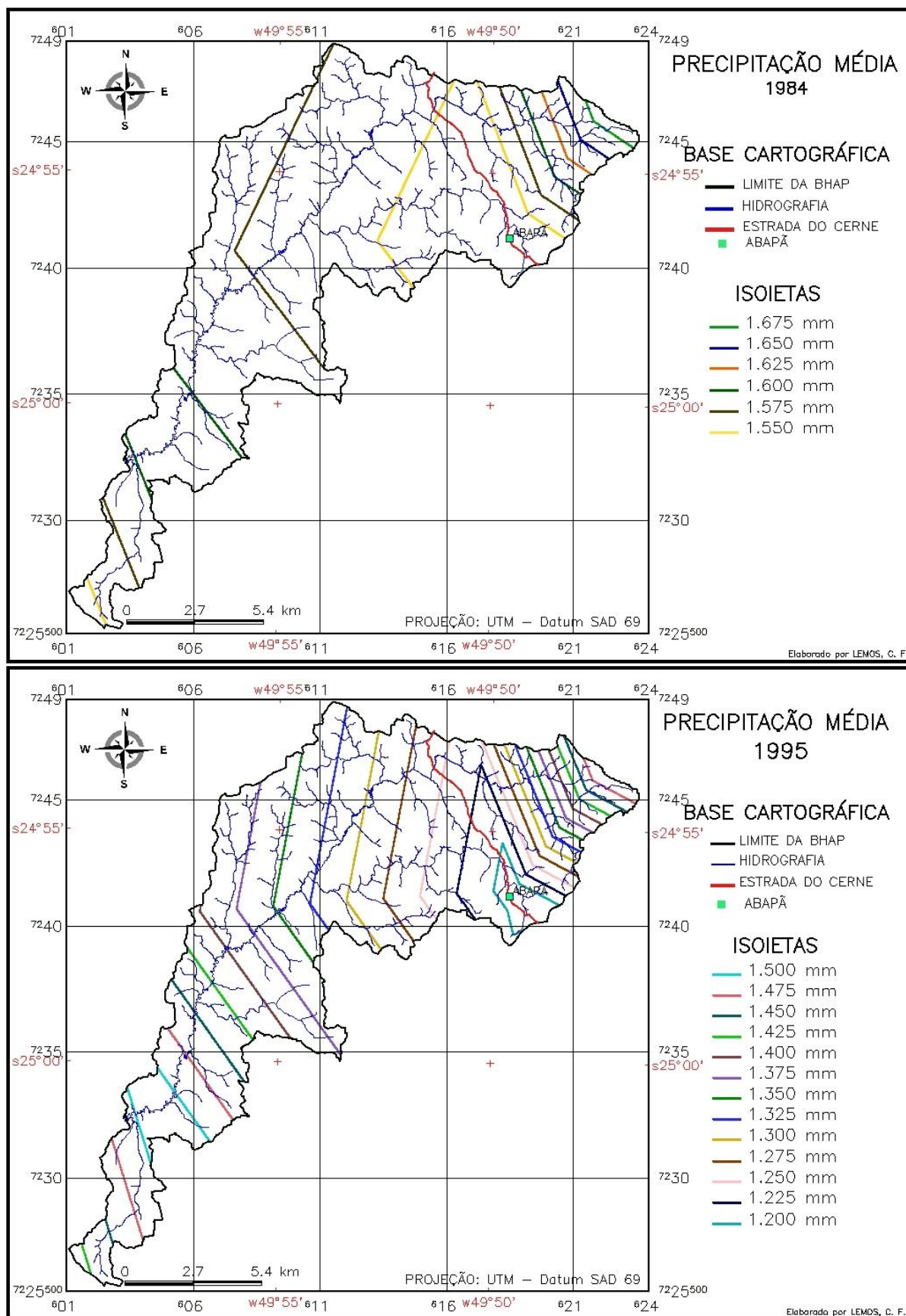


FIGURA 38 – MAPA DAS ISOIETAS PARA OS PERÍODOS DE 1984 E 1995 NA BHAP

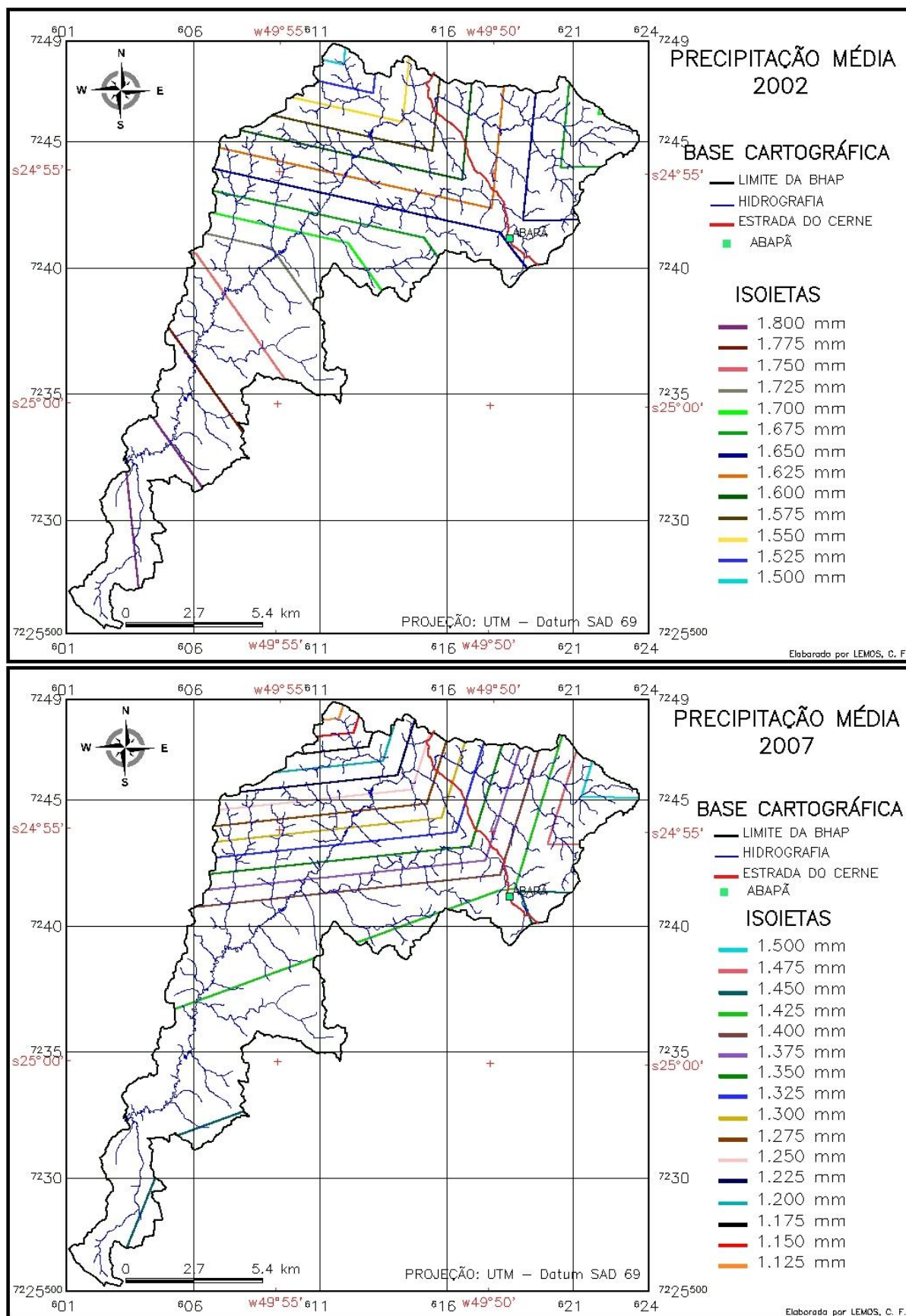


FIGURA 39 – MAPA DAS ISOIETAS PARA OS PERÍODOS DE 2002 E 2007 NA BHAP

A variação de erosividade nas estações pluviométricas ficou entre 6.151,41 a 9.633,79 para 1984; 5.901,48 a 10.988,70 em 1995; 6.434,65 a 9.756,33 para 2002; e 5.480,16 a 8.107,74 no período de 2007 (Tabela 14).

TABELA 14 – VALORES DA EROSIVIDADE DA CHUVA DOS PERÍODOS ANALISADOS PARA AS ESTAÇÕES PLUVIOMÉTRICAS PESQUISADAS

ESTAÇÃO	R <sub>1984</sub>	R <sub>1995</sub>	R <sub>2002</sub>	R <sub>2007</sub>
ABAPÃ	6.896,09	5.901,48	7.693,19	6.879,46
AÇUNGUI	8.239,89	9.611,98	--	--
APARIÇÃO	7.718,46	7.526,52	8.577,92	--
BOCAINA	7.162,03	6.725,04	7.813,96	6.832,38
BOQUEIRÃO	7.375,36	7.528,88	8.958,66	--
CAPÃO ALTO	7.406,59	6.374,64	--	--
CASTRO	7.661,96	6.956,72	6.434,65	5.480,16
CATANDUVA	7.271,03	7.101,87	8.034,90	7.026,43
CAXAMBU	6.151,41	6.868,64	--	--
CHÁCARA	9.633,79	6.818,49	7.729,07	6.675,18
ENG. LEITÃO	7.394,01	7.136,91	7.493,16	7.308,86
ERVALZINHO	7.103,47	6.958,12	7.873,94	6.808,46
GUARAGI	7.218,83	7.262,35	8.486,27	--
GUARAREMA	7.745,57	7.151,86	8.369,87	--
IAPÓ	8.062,64	7.308,09	7.565,07	7.332,76
ITAIACOCA	7.691,90	7.607,17	8.095,34	7.185,60
MANOEL RIBAS	6.589,85	6.314,15	7.466,64	5.875,89
MATO QUEIMADO	7.064,65	6.924,87	--	--
PEDRAS	7.822,96	7.530,97	9.756,33	--
PINHEIRINHO	7.496,58	6.777,74	7.549,29	6.630,74
PIRIQUITOS	7.237,42	6.779,46	9.072,64	--
PONTA GROSSA	7.003,37	7.379,41	--	--
SANTA CRUZ	7.238,63	7.112,83	8.002,18	6.658,97
SANTA MARIA	7.332,83	7.009,81	--	--
SÃO JORGE	6.736,58	6.442,21	--	--
SEBASTIÃO	6.566,84	6.891,04	7.338,89	6.215,99
SILVESTRE	7.289,05	7.830,83	--	--
SOCAVÃO	9.243,33	10.988,70	8.662,29	8.107,74
TABOR	6.752,54	6.679,31	7.774,03	6.786,91
TRÊS CÓRREGOS	6.694,83	7.351,67	7.652,40	6.729,58
UVAIA	6.869,54	6.063,10	6.645,95	6.915,89
<b>MÉDIAS</b>	<b>7.375,65</b>	<b>7190,80</b>	<b>7.958,55</b>	<b>6.791,23</b>

NOTA: R<sub>ANO</sub> = é a média da erosividade no período avaliado (MJ.ha<sup>-1</sup>.mm.h<sup>-1</sup>.ano<sup>-1</sup>).

Os maiores valores de erosividade encontrados foram nas estações pluviométricas de Chácara, Pedras e Socavão e os menores em Abapã, Castro e Caxambu (Figura 40).

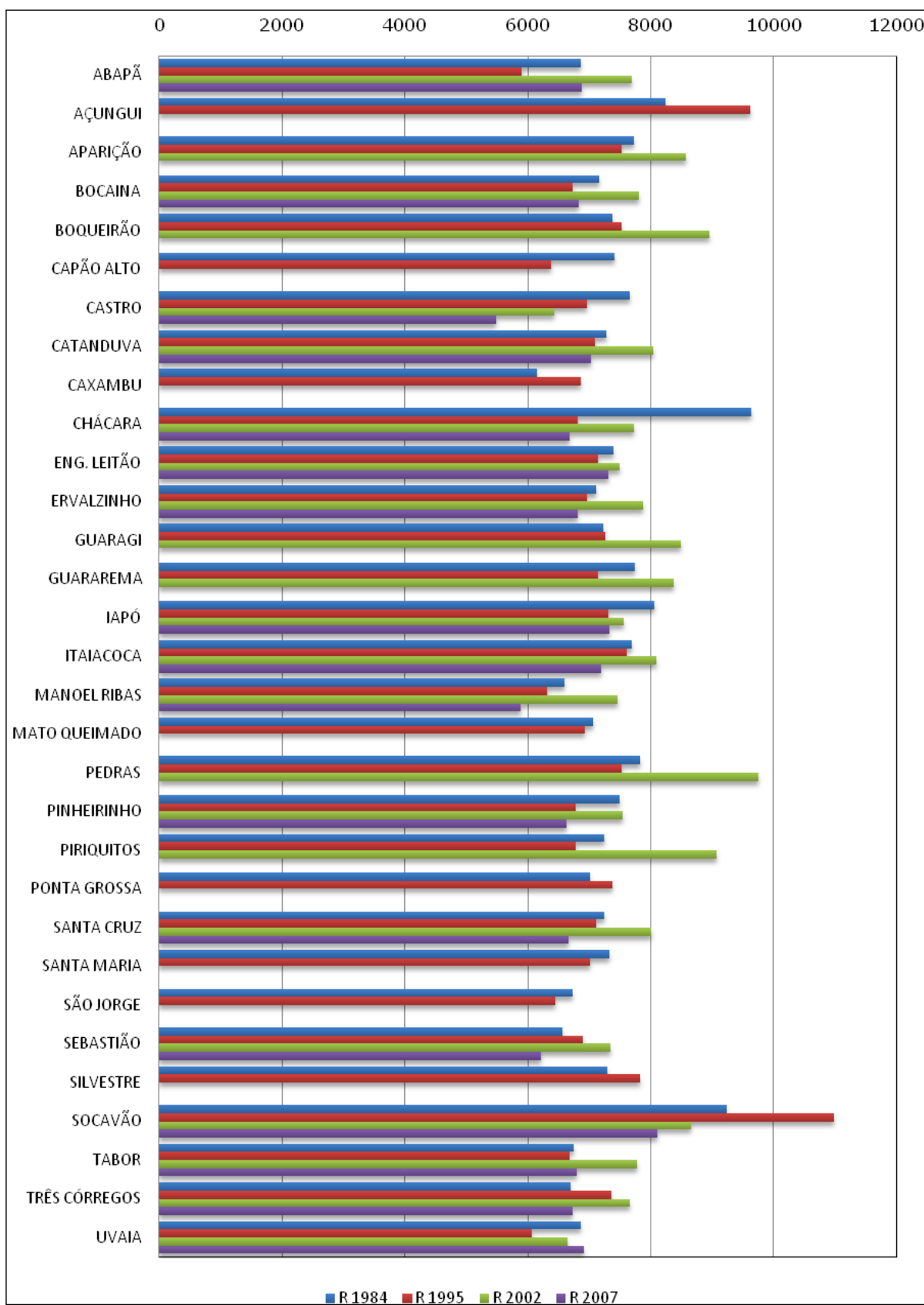


FIGURA 40 – GRÁFICO DAS EROSIVIDADES POR PERÍODOS ANALISADOS

NOTA:  $R_{ANO}$  = é a média da erosividade no período avaliado ( $MJ.ha^{-1}.mm.h^{-1}.ano^{-1}$ ).

Por meio dos mapas da erosividade (Figura 41 e Figura 42), gerados com os valores da erosividade calculados para cada estação pluviométrica e recortados para a área da bacia, percebeu-se que os maiores valores de erosividade da chuva ocorreram no nordeste e sudoeste da BHAP. No período de 1995, há uma variação maior do que nos demais períodos analisados e verifica-se, também, que o período de 2002 foi o que obteve os maiores valores de erosividade, 100% da área apresentou  $R > 7.000 \text{ MJ.ha}^{-1}.\text{mm.h}^{-1}.\text{ano}^{-1}$ , seguido pelos períodos de 1984 (84,54%), 2007 (31,34%) e 1995 (18,52%).

As variações mínimas e máximas e as médias ocorridas no valor da erosividade da chuva, dos períodos analisados, estão apresentadas na Tabela 15.

TABELA 15 – VALORES MÍNIMOS, MÁXIMOS E MÉDIOS DA EROSIVIDADE DA CHUVA NOS PERÍODOS ANALISADOS PARA BHAP

PERÍODOS	$R_{\min}$	$R_{\max}$	$R_{\text{med}}$
1961 a 1984	6.869,16	7.532,21	7.157,81
1985 a 1995	5.901,60	7.312,88	6.569,93
1996 a 2002	7.165,13	8.062,84	7.759,82
2003 a 2007	6.292,36	7.209,32	6.874,01

NOTA: P = Precipitação (mm); R = Erosividade da chuva ( $\text{MJ.ha}^{-1}.\text{mm.h}^{-1}.\text{ano}^{-1}$ ).

A ordem crescente dos valores da erosividade média da chuva, para a área de estudo, ocorreu na seguinte sequência de anos: 1995, 2007, 1984 e 2002 com 6.569,93; 6.874,01; 7.157,81 e 7.759,82, respectivamente. Verificou-se que o índice de precipitação média anual apresentou a mesma ordem, ou seja, em 1995 a pluviometria foi de 1.323,27 mm; para 2007 de 1.376,39 mm; para 1984 de 1.548,42 mm; e, em 2002 foi de 1.656,05 mm.

Os valores médios da erosividade da chuva para os anos de 1984, 1995 e 2007 podem ser classificados como médios, e, em 2002, como alta, conforme Chueh (2004) (Tabela 3, p. 40).



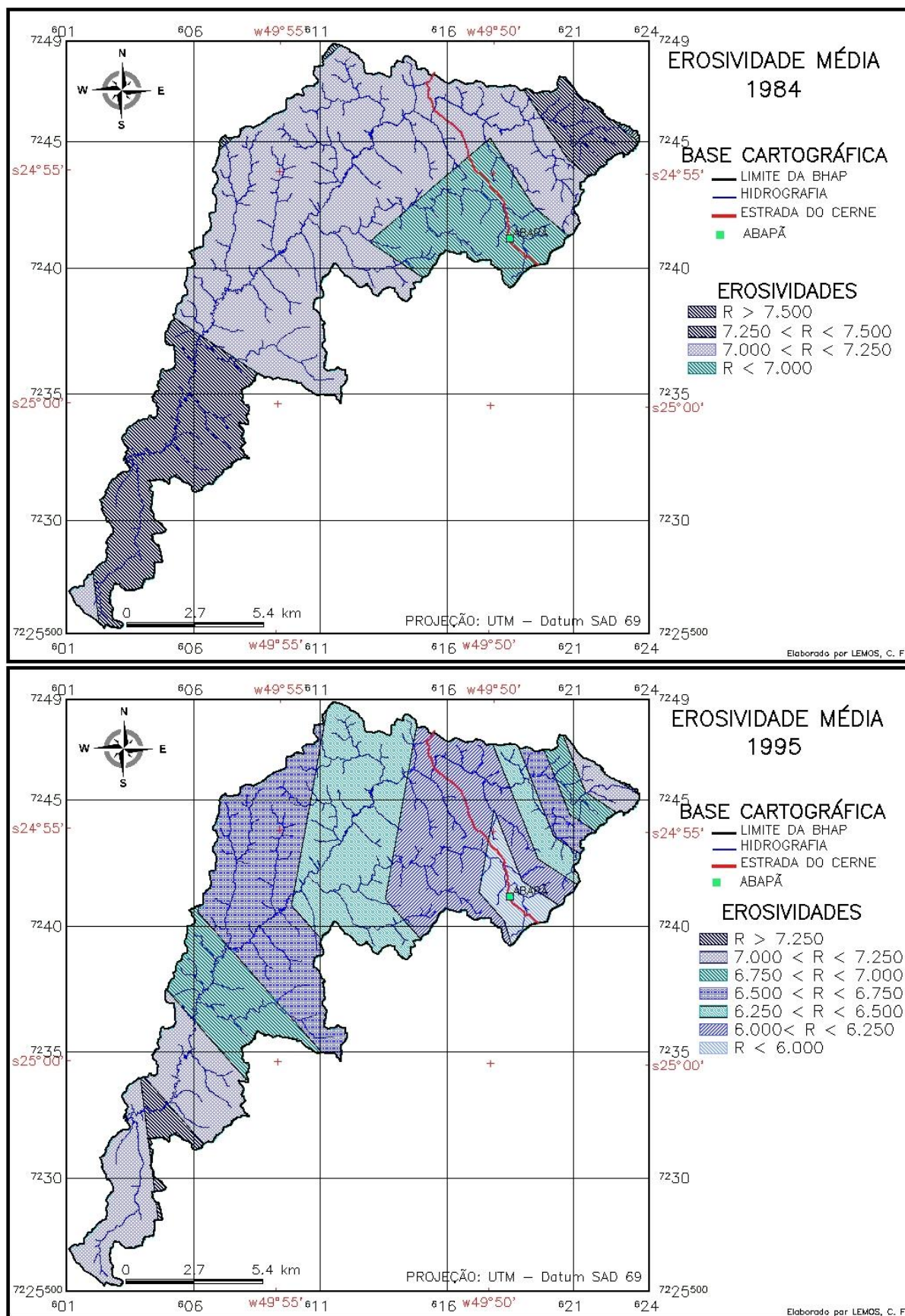


FIGURA 41 – MAPA DA EROSIVIDADE DA CHUVA EM 1984 E 1995 PARA BHAP

NOTA:  $R$  = Erosividade da chuva ( $\text{MJ} \cdot \text{ha}^{-1} \cdot \text{mm} \cdot \text{h}^{-1} \cdot \text{ano}^{-1}$ ).



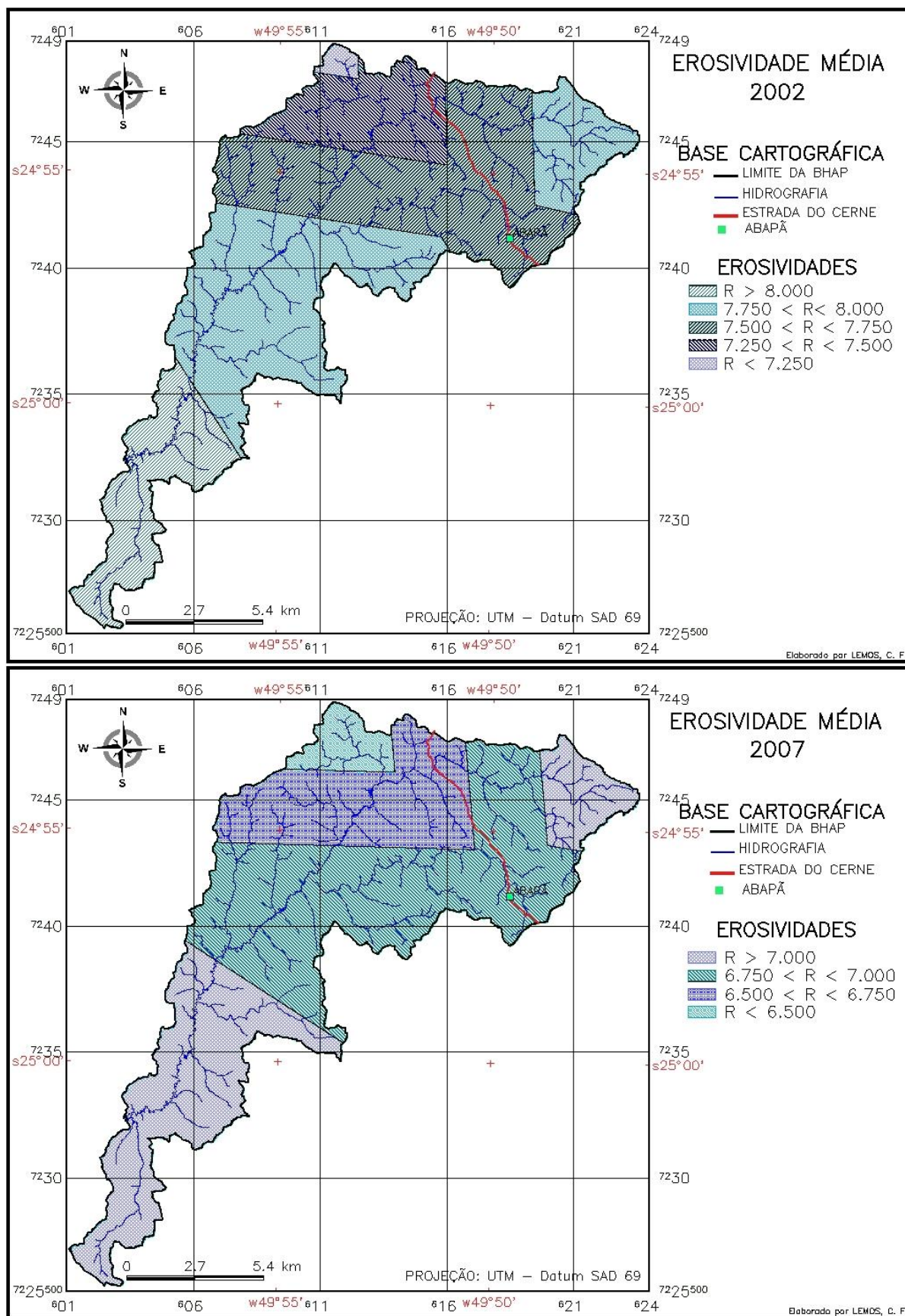


FIGURA 42 – MAPA DA EROSIVIDADE DA CHUVA EM 2002 E 2007 PARA BHAP

NOTA:  $R$  = Erosividade da chuva ( $\text{MJ} \cdot \text{ha}^{-1} \cdot \text{mm} \cdot \text{h}^{-1} \cdot \text{ano}^{-1}$ ).

### 5.2.2 Fator K

Os resultados das análises físicas das amostras de solo, coletadas dos pontos P01 ao P12 (Anexo 1), estão apresentados, resumidamente, na Tabela 16.

TABELA 16 – RESULTADOS DOS ENSAIOS FÍSICOS

AMOSTRAS	$\gamma_g$ (g.cm <sup>-3</sup> )	$\gamma_{nat}$ (g.cm <sup>-3</sup> )	$\gamma_s$ (g.cm <sup>-3</sup> )	$\gamma_{sat}$ (g.cm <sup>-3</sup> )	$\gamma_{sub}$ (g.cm <sup>-3</sup> )	h (%)	$\varepsilon$	$\eta$	G <sub>S</sub> (%)	G <sub>A</sub> (%)	AR (%)	SI (%)	AT (%)	MO (%)
P 01 B	2,61	1,67	1,39	1,86	0,86	20,15	0,88	46,68	60,1	39,9	45,20	30,50	24,3	0,40
P 02 A	2,48	1,25	1,03	1,62	0,62	21,27	1,40	58,39	37,6	62,4	48,80	16,80	34,4	5,09
P 03 B	2,49	1,70	1,44	1,86	0,86	18,47	0,73	42,26	62,7	37,3	19,80	51,10	29,1	0,13
P 04 A	2,32	1,47	1,14	1,65	0,65	28,86	1,04	51,00	64,5	35,5	60,50	19,70	19,8	3,35
P 04 B	2,38	1,70	1,23	1,71	0,71	38,24	0,93	48,16	97,8	2,2	61,20	20,70	18,1	0,80
P 05 B	2,47	1,74	1,28	1,76	0,76	35,85	0,94	48,39	94,6	5,4	62,50	20,60	17,0	0,40
P 06 A	2,43	1,92	1,47	1,86	0,86	30,71	0,65	39,54	100	0	47,00	20,50	32,5	0,94
P 07 A	2,36	1,66	1,08	1,63	0,63	53,07	1,18	54,16	100	0	27,20	20,80	52,0	6,97
P 08 A	2,08	1,31	0,51	1,27	0,27	157,13	3,08	75,52	100	0	29,30	45,70	25,0	5,90
P 09 A	2,41	1,70	1,19	1,70	0,70	42,46	1,02	50,52	100	0	48,40	18,40	33,2	1,47
P 09 B	2,44	1,86	1,43	1,84	0,84	30,19	0,71	41,52	100	0	44,70	17,60	37,7	0,67
P 10 A	2,41	1,48	1,15	1,67	0,67	28,73	1,10	52,33	63,0	37,0	19,50	41,10	39,4	1,74
P 11 A	2,41	1,85	1,43	1,84	0,84	29,33	0,68	40,56	100	0	49,30	18,60	32,1	2,81
P 11 B	2,41	1,89	1,38	1,81	0,81	36,84	0,75	42,76	100	0	51,00	19,00	30,0	1,07
P 12 A	2,55	1,63	1,17	1,71	0,71	39,08	1,17	54,00	85,0	15,0	57,40	22,80	19,8	1,88

NOTA: P = Ponto Amostrado; A = Horizonte A; B = Horizonte B;  $\gamma_g$  – Peso Específico dos Grãos;  $\gamma_{nat}$  – Peso Específico Natural;  $\gamma_s$  – Peso Específico do Solo Seco;  $\gamma_{sat}$  – Peso Específico do Solo Saturado;  $\gamma_{sub}$  – Peso Específico Submerso; h – Umidade Natural;  $\varepsilon$  – Índice de Vazios;  $\eta$  – Porosidade; G<sub>S</sub> – Grau de Saturação; G<sub>A</sub> – Grau de Aeração; AR – Argila; SI – Silte; AT – Areia Total; MO – Matéria Orgânica.

O peso específico dos grãos é a razão entre o peso dos grãos constituintes do solo seco e o volume por estes ocupado. Portanto, esse dado não varia com o manejo do solo e nem inclui a porosidade, dependendo apenas da composição química e mineralógica do solo.

Os solos minerais apresentaram valores de  $\gamma_g$  em torno de 2,65 g.cm<sup>-3</sup>, exceção quando tem alto teor de MO, pois esta tem densidade relativa baixa e, por isso, ao contrário da presença de óxidos, sua presença reduz o  $\gamma_g$  (REINERT; REICHERT, 2006). Os maiores valores de peso específico dos grãos foram

encontrados nas amostras P01B e P12A ( $2,61$  e  $2,55 \text{ g.cm}^{-3}$ ) e o menor na P08A ( $2,08 \text{ g.cm}^{-3}$ ) (Figura 43).

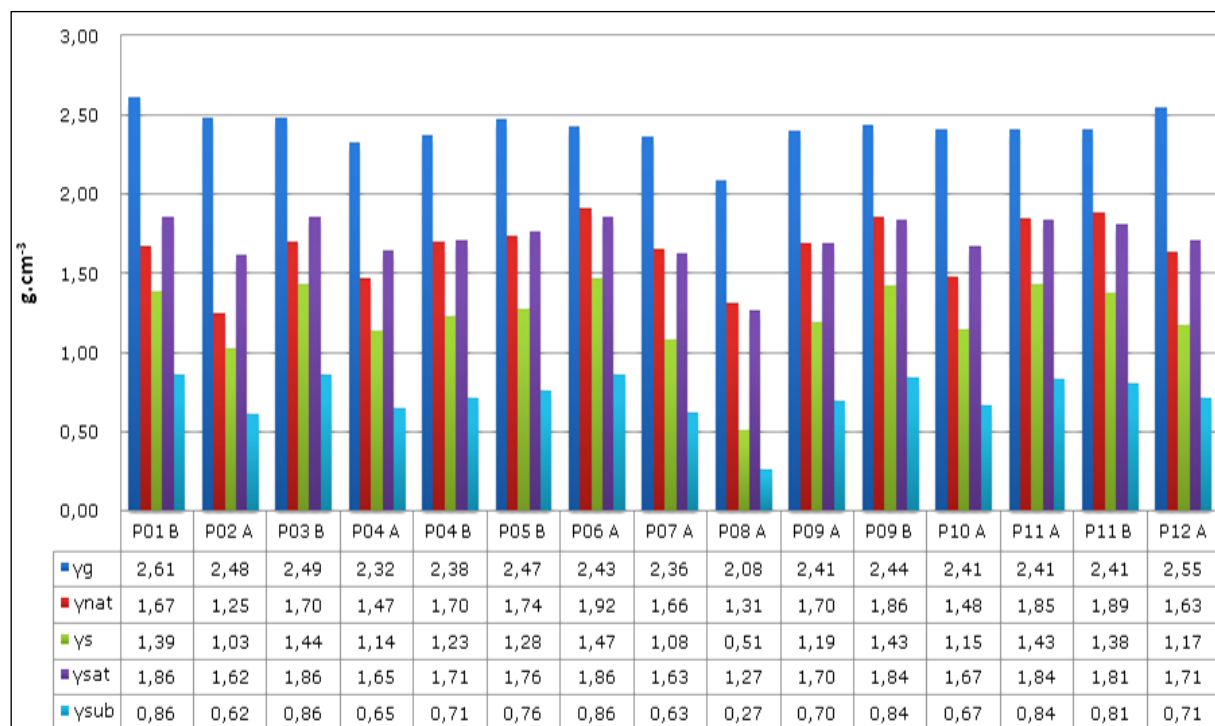


FIGURA 43 – GRÁFICO DA VARIAÇÃO DOS PESOS ESPECÍFICOS

NOTA:  $\gamma_g$  – Peso Específico dos Grãos;  $\gamma_{nat}$  – Peso Específico Natural;  $\gamma_s$  – Peso Específico do Solo Seco;  $\gamma_{sat}$  – Peso Específico do Solo Saturado;  $\gamma_{sub}$  – Peso Específico Submerso.

Percebeu-se, também, que as amostras P02A e P08A apresentaram os menores pesos específico natural ( $1,25$  e  $1,31 \text{ g.cm}^{-3}$ ), justificado pela quantidade de MO ser superior a 5%. A matéria orgânica tem grande importância por influenciar algumas características físicas do solo como: o pH, o peso específico natural, a condutividade hidráulica, a estabilidade dos agregados e, conseqüentemente, a susceptibilidade à erosão. Cerda (1996) verificou que, paralelo ao acréscimo da matéria orgânica do solo, a porosidade do solo aumentou, enquanto que a densidade e a erodibilidade do solo diminuíram.

Já a amostra P06A apresentou o maior peso específico natural ( $1,92 \text{ g.cm}^{-3}$ ), porém o menor índice de vazios ( $0,65$ ) e porosidade ( $39,54$ ). Esses valores indicam que há problemas de compactação, pois, havendo modificação do espaço poroso do solo, haverá alteração do peso específico natural (REINERT; REICHERT, 2006; PRADO, 2005).

Conforme Figura 44 e Figura 45, o índice de vazios ( $\epsilon$ ) e a porosidade ( $\eta$ ) são considerados muito altos para as amostras P02A, P04A, P07A, P08A, P09A P10A e

P12A, por apresentarem valores maiores que 1 e 50, respectivamente; altos para as amostras P01B, P04B e P05B, por apresentar o índice de vazios entre 0,80 e 1,00 e porosidade entre 45 e 50; e médios para P03B, P06A, P09B, P11A e P11B, por terem valores dentro do intervalo de 0,55 e 0,80 para o índice de vazios e de 35 e 45 para porosidade (IAEG, 1979).

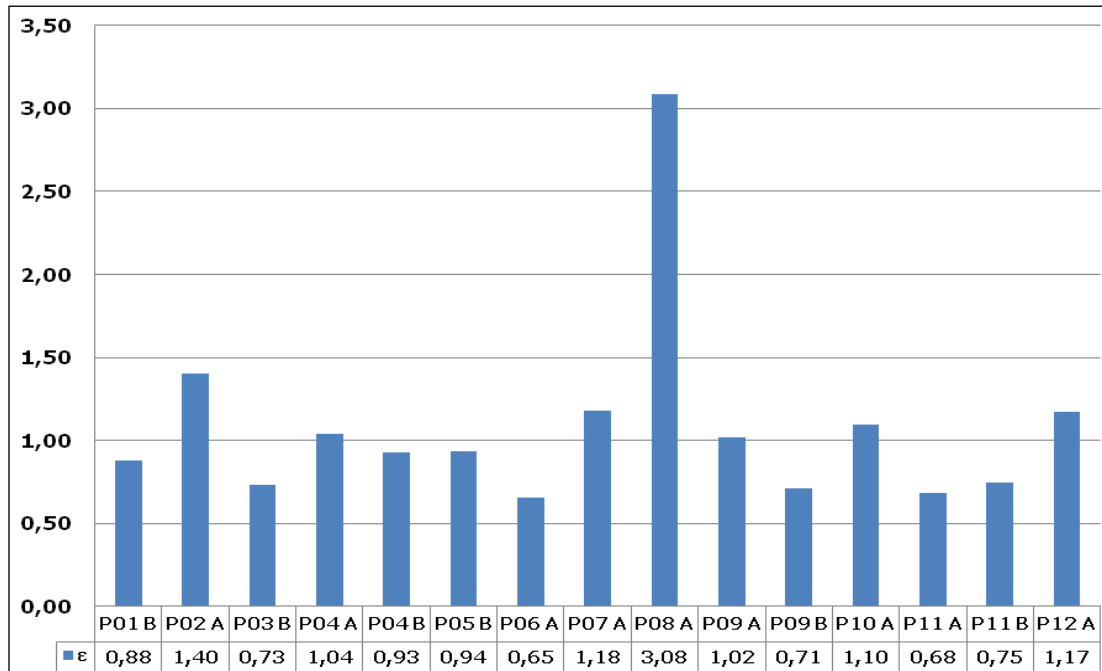


FIGURA 44 – GRÁFICO DO ÍNDICE DE VAZIOS

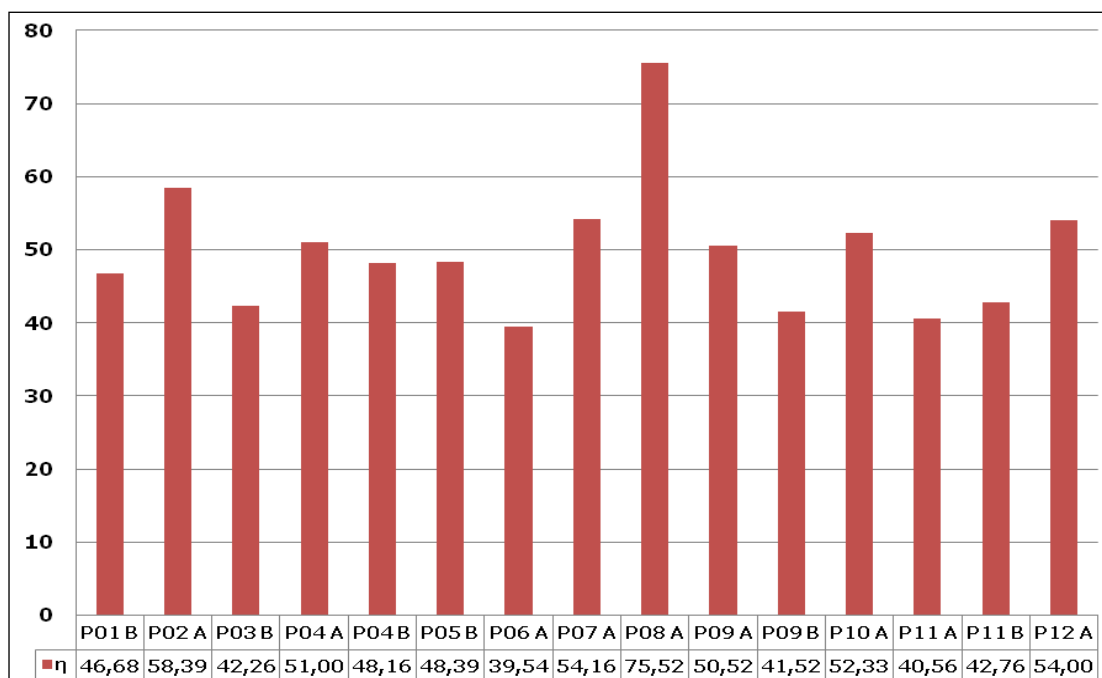


FIGURA 45 – GRÁFICO DA POROSIDADE

Conforme Figura 46 e Figura 47, observa-se que o grau de saturação ( $G_s$ ) está entre 25 e 50% para a amostra P02, sendo assim, considerada úmida; já as amostras P01B, P03B, P04A e P10A, são especificadas como muito úmidas, pelo  $G_s$  estar entre 50 e 80%; as amostras P05B e P12A são saturadas, por ter o  $G_s$  entre 80 e 95%; e para P04B, P06A, P07A, P08A, P09A, P09B, P11A e P11B são consideradas altamente saturadas, pois o  $G_s$  é maior que 95% (IAEG, 1979).

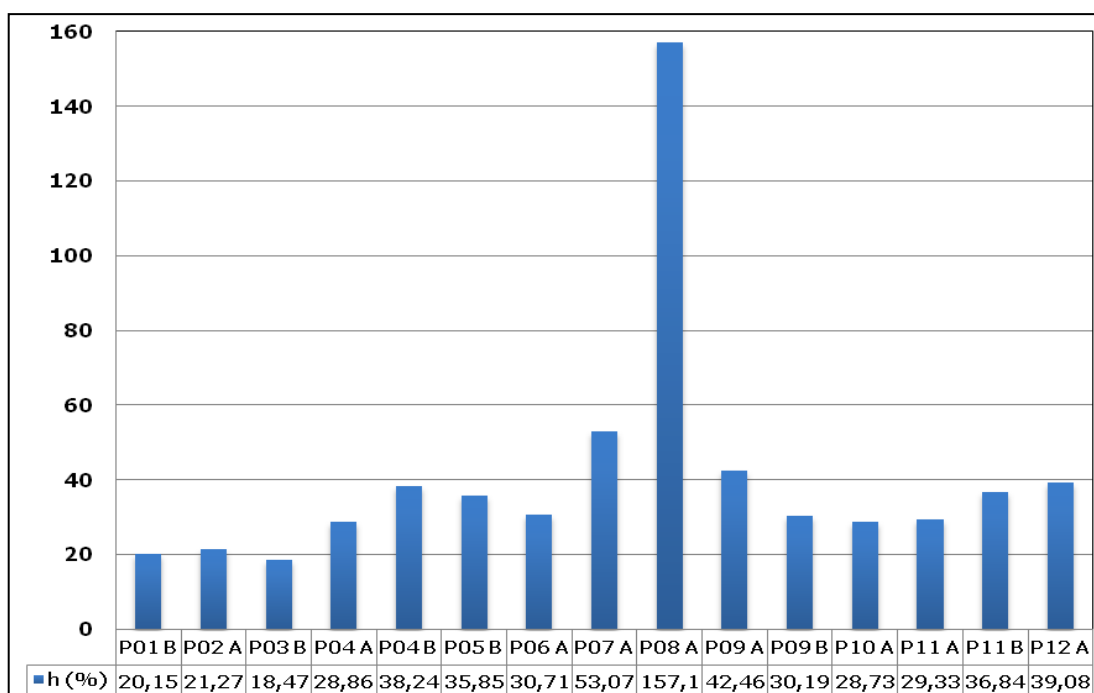


FIGURA 46 – GRÁFICO DA UMIDADE NATURAL

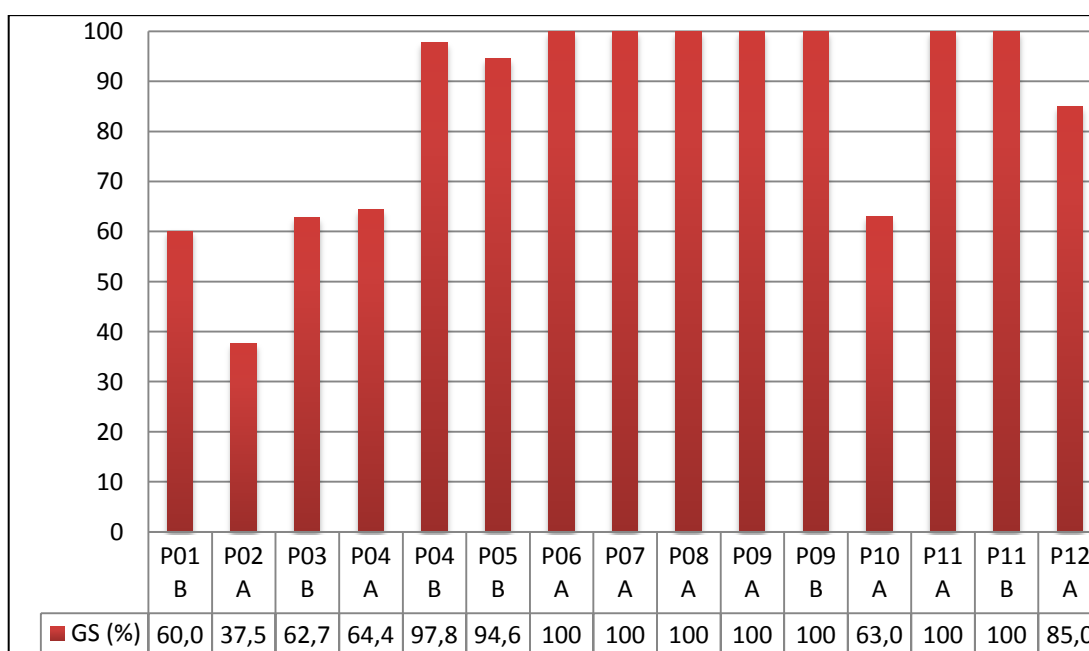


FIGURA 47 – GRÁFICO DO GRAU DE SATURAÇÃO

Verificou-se, ainda, que a maior umidade foi no ponto P08A (157,13%), justificada pela retirada de amostra próxima ao leito do rio Pitangui, enquanto o ponto P03 deparou-se com a menor umidade (18,47%) encontrada.

No que concerne à composição granulométrica (Figura 48), observou-se que apenas cinco amostras (P04A, P04B, P05B, P11B e P12A) tiveram os teores de argila acima de 50%; que o menor valor encontrado de argila foi no ponto P03B (19,80%); e o maior teor de areia foi na amostra P07A (52%). As amostras P02A e P09B apresentaram os menores teores de silte, com 16,80% e 17,60% respectivamente, e P03B o maior valor, com 51,10%.

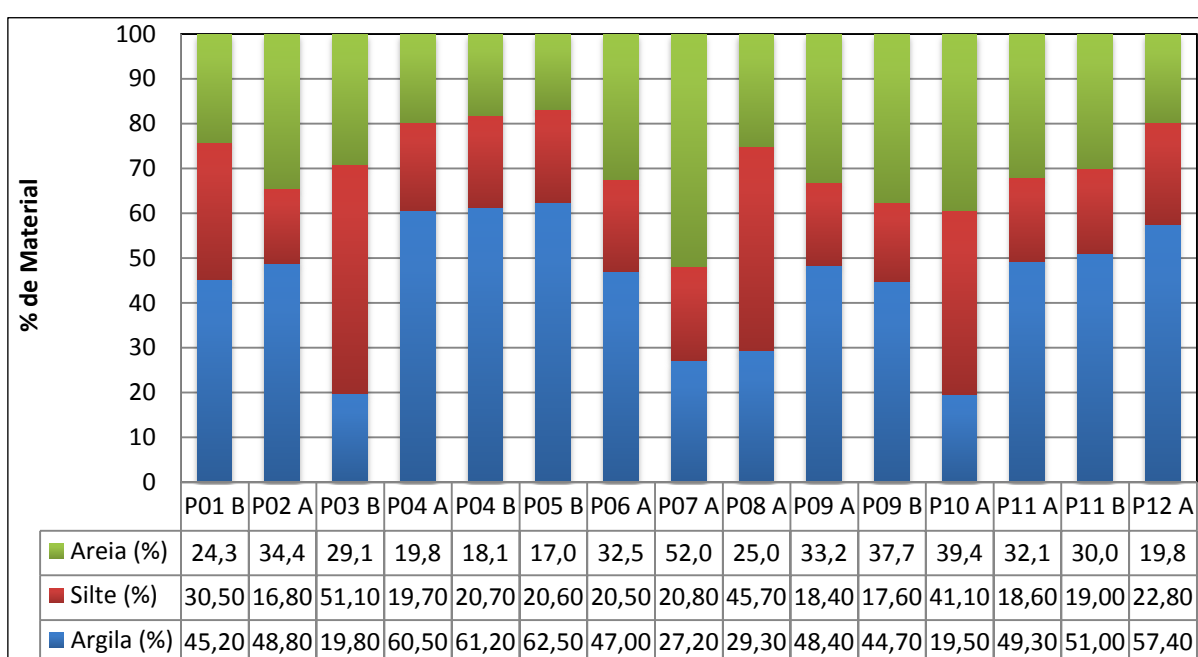


FIGURA 48 – GRÁFICO DA COMPOSIÇÃO GRANULOMÉTRICA

Para o ponto P07A o valor encontrado de areia (52%) é explicado pelo processo erosivo existente na área de estudo, pois esse ponto está localizado na foz do rio Pitangui, junto à represa de Alagados, ou seja, na menor cota da área de estudo. Portanto, esse dado confirma a ocorrência do transporte das partículas maiores (areia), provenientes dos lugares mais altos. Enquanto que, provavelmente, as partículas menores (silte e argila) acabam se depositando e ficando pelo caminho das águas superficiais, em áreas inundáveis, cursos d'água, lagos e nas concavidades das encostas.

Os valores obtidos e utilizados para o cálculo da erodibilidade para cada tipo de solo estão apresentados na Tabela 17.

TABELA 17 – DADOS PARA O CÁLCULO DA ERODIBILIDADE DOS PONTOS AVALIADOS

AMOSTRAS		M	a	b	c	K	K <sub>médio</sub>	SOLOS				
P 07 A	AC	2.990,62	6,969	2	2,50	0,0111	0,0111	Organossolo Mésico + Gleissolo Melânico	OYs2			
P 08 A	AC	4.011,70	5,897	2	5,00	0,0282	0,0282					
PC 119 A	EMBRAPA (1984), p. 666	2.016,00	3,543	3	5,00	0,0245	0,0231	Cambissolo Háplico Subs. Granitos	CXbd1			
PC 119 B		1.647,00	0,808	3	5,00	0,0252						
PC 120 A	EMBRAPA (1984), p. 667	1.311,00	2,305	3	2,75	0,0130				0,0363	Cambissolo Háplico Subs. Granitos	CXbd2
PC 120 B		1.914,00	0,774	3	5,50	0,0296						
P 01 A	AC	2.133,12	0,402	3	5,50	0,0325	0,0363	Cambissolo Háplico Subs. Granitos	CXbd2			
P 02 B	AC	1.353,32	5,093	3	5,50	0,0196						
P 03 B	AC	4.611,66	0,134	3	4,00	0,0568						
P 10 A	AC	4.323,49	1,742	3	5,50	0,0520	0,0520	Cambissolo Háplico Subs. Migmatitos	CXbd5			
PC 118 A	EMBRAPA (1984), p. 665	1.886,00	2,374	3	5,50	0,0269	0,0280	Cambissolo Háplico Subs. Granitos + Latossolo Bruno	CXbd5			
PC 118 B		1.927,00	1,170	3	5,50	0,0291						
P 06 A	AC	1.666,04	0,938	3	5,50	0,0269	0,0270					
P 05 B	AC	1.033,31	0,402	4	6,00	0,02727						
PC 12 A <sub>p</sub>	EMBRAPA (1984), p. 190	984,00	4,403	3	5,50	0,0179	0,0215	Latossolo Vermelho	LVd4			
PC 12 A <sub>31</sub>		714,00	3,492	4	6,00	0,0226						
PC 12 A <sub>32</sub>		693,00	2,786	4	6,00	0,0228						
PC 12 B <sub>1</sub>		620,00	2,322	4	6,00	0,0225						
PC 20 B	EMBRAPA (1984), p. 209	1.365,00	1,359	4	6,00	0,0294	0,0245	Latossolo Vermelho	LVd8			
PC 23 A	EMBRAPA (1984), p. 212	1.508,00	6,570	3	5,50	0,0188						
PC 23 B		960,00	2,219	4	6,00	0,0252						
P 09 A	AC	1.480,51	1,474	3	5,50	0,0245	0,0256	Latossolo Bruno	LBd1			
P 09 B		1.619,57	0,670	3	5,50	0,0268						
PC 05 A <sub>p</sub>	BOGNOLA <i>et al.</i> (2002a)	985,60	3,956	3	5,50	0,0182	0,0217	Latossolo Bruno	LBd2			
PC 05 AB		757,77	2,718	4	6,00	0,0233						
PC 05 BA		763,28	2,339	4	6,00	0,0236						
PC 144 A	EMBRAPA (1984), p.781	3.402,00	6,467	2	2,00	0,0129	0,0129	Neossolo Litólico Subs. Arenito + Cambissolo Háplico Subs. Arenito	RLh1			
PC 04 A <sub>1</sub>	BOGNOLA <i>et al.</i> (2002a)	2.435,76	3,578	3	2,50	0,0195	0,0227					
PC 04 A <sub>2</sub>		2.470,40	1,823	3	2,50	0,0234						
PC 04 AB		2.469,84	1,445	3	2,50	0,0241						
PC 04 BA		2.402,40	1,204	3	2,50	0,0239						
PC 02 A <sub>p</sub>	FASOLO <i>et al.</i> (2002b)	938,34	3,801	4	6,00	0,0240	0,0237	Cambissolo Háplico Subs. Filitos, Xistos E Quartzitos	RLh2			
PC 02 AB		775,44	2,528	4	6,00	0,0236						
PC 02 BA		730,08	1,686	4	6,00	0,0237						
PC 04 A <sub>p</sub>	BOGNOLA <i>et al.</i> (2002b)	2.101,45	3,406	3	2,50	0,0172	0,0181	Neossolo Litólico	RL			
PC 04 A <sub>2</sub>		2.241,90	2,993	3	2,50	0,0190						

Continua

## Continuação

AMOSTRAS		M	a	b	c	K	K <sub>médio</sub>	SOLOS	SIGLAS
PC 04 A <sub>p</sub>	FASOLO <i>et al.</i> (2002b)	1.464,90	3,079	3	5,50	0,0225	0,0227	Cambissolo Háplico Subs. Filitos, Mármore e Quartzitos	RLd
PC 04 AB		1.346,20	1,772	3	5,50	0,0229			
PC 04 BA		1.280,10	1,324	3	5,50	0,0228			
P 11 A	AC	1.979,18	2,814	3	5,50	0,0270	0,0271	Nitossolo Háplico + Cambissolo Latossólico Subs. Granitos	NXd
P 11 B		1.857,10	1,072	3	5,50	0,0286			
P 12 A	AC	1.502,67	1,876	3	5,50	0,0242			
P 04 A	AC	1.270,87	3,351	4	6,00	0,0267			
P 04 B		1.245,60	0,804	4	6,00	0,0289			
PC 108 A	EMBRAPA (1984), p. 655	1.144,00	4,008	3	5,50	0,0193	0,0198		
PC 108 B		968,00	1,204	3	5,50	0,0201			
PC 121 A	EMBRAPA (1984), p. 668	1.27400	4,300	3	5,50	0,0199			
PC 121 B		943,00	1,152	3	5,50	0,0199			

NOTA: P = Ponto Amostrado; PC = Perfil Considerado, A = Horizonte A; B = Horizonte B; AR = Argila; AF = Areia Fina; SI = Silte; AT = Areia Total; MO = Matéria Orgânica (1,72 x %C); a = percentual de matéria orgânica no solo; b = valores para identificação da estrutura do solo; c = classificação da permeabilidade do solo; K = Erodibilidade; K<sub>médio</sub> = Erodibilidade média.

Na Tabela 18, estão classificados, por ordem crescente de erodibilidade (K), os tipos de solos existentes na BHAP, conforme os valores da erodibilidade calculados pela Equação 4, p. 41. Os menores valores encontrados foram para as Associação de Neossolo Litólico (RLh1) e Afloramentos Rochosos (AR1) e os maiores valores ficaram com os Cambissolos Háplicos (CXbd2 e CXbd5).

Ross (1994<sup>1</sup> *apud* Cereda Junior, 2006) classificou alguns tipos de solos de acordo com sua erodibilidade, como: muito baixa para os Latossolos Vermelhos com textura argilosa; baixa para os Latossolos Amarelos e Latossolos Vermelho-Amarelos com textura média/argilosa; média para os Nitossolos e Argissolos com textura média/argilosa; forte para os Cambissolos; e muito forte aos Neossolos.

<sup>1</sup> ROSS, J. L. S. Análise empírica da fragilidade dos ambientes naturais e antropizados. **Revista do Departamento de Geografia**. São Paulo: FFLCH-USP, n.8, p.63-74, 1994.



TABELA 18 – VALORES DA ERODIBILIDADE DOS SOLOS

CLASSIFICAÇÃO DO SOLO	SIGLAS	K
Afloramentos Rochosos (Arenitos).	RLh1	0,0178
Cambissolo Háplico Tb Distrófico típico textura argilosa epieutrófico fase campo subtropical relevo ondulado de vertentes curtas (declives variando de 8 a 20%).	AR1	0,0181
Cambissolo Háplico Tb Distrófico típico textura média e argilosa fase campo e floresta subtropical relevo ondulado e forte ondulado (declives variando de 8 a 20% e de 20 a 45%).	OYs2	0,0196
Associação de Cambissolo Háplico Tb relevo ondulado + Latossolo Bruno ambos Distróficos típicos textura argilosa epieutróficos fase campo subtropical relevo suave ondulado (declives variando de 3 a 8%).	RLd	0,0204
Latossolo Bruno Distrófico típico textura argilosa epieutrófico fase campo subtropical relevo suave ondulado (declives de 3 a 6%).	RLh2	0,0209
Latossolo Bruno Distrófico típico textura argilosa epieutrófico fase campo subtropical relevo suave ondulado (declives de 6 a 8%).	LVd4	0,0215
Latossolo Vermelho Distrófico típico textura argilosa fase campo subtropical relevo suave ondulado (declives de 6 a 8%).	LBd2	0,0217
Latossolo Vermelho Distrófico típico textura argilosa fase floresta subtropical relevo suave ondulado (declives de 6 a 8%).	CXbd1	0,0231
Associação de Nitossolo Háplico latossólico relevo ondulado + Cambissolo Háplico Tb típico ambos Distróficos textura argilosa fase floresta subtropical relevo forte ondulado (declives de 20 a 45%).	NXd	0,0234
Associação de Organossolo Mésico Sáprico típico + Gleissolo Melânico Distrófico hístico e típico epieutrófico ambos fase campo e floresta subtropical de várzea relevo plano (declividades variáveis de 0 a 3%).	LVd8	0,0245
Associação de Neossolo Litólico + Cambissolo Háplico Tb ambos Distróficos típicos textura média e argilosa fase floresta subtropical relevo forte ondulado e montanhoso (declives variando de 20 a 45% e de 45 a 75%) substrato filitos e xistos.	LBd1	0,0256
Associação de Neossolo Litólico Húmico + Cambissolo Húmico Distrófico ambos típicos textura média fase campo subtropical relevo suave ondulado (declives variando de 3 a 8%) substrato arenito.	CXbd5	0,0357
Associação de Neossolo Litólico Húmico típico textura média a arenosa fase campo e floresta subtropical + Afloramentos Rochosos ambos relevo montanhoso e escarpado (declives variando de 45 a 75% e acima de 75%) substrato mármores dolomíticos.	CXbd2	0,0363

NOTA: K – Erodibilidade do solo ( $t.ha^{-1}.h.mm^{-1}.ha.MJ^{-1}$ ).

Portanto, como os Latossolos e Nitossolos apresentaram erodibilidade médias e os Cambissolos valores mais altos, pode-se dizer que esses tipos de solos satisfazem a classificação acima mencionada. Porém, o inverso ocorreu com os Neossolos, pois os mesmos apresentaram os menores valores de erodibilidade encontrados na área de estudo. Isso pode ser justificado por possuírem horizonte "A Húmico", ou seja, com quantidade de matéria orgânica suficiente para minimizar a característica de solos erodíveis.

O valor médio encontrado foi de 0,027358 e, conforme a classificação de Carvalho (2008) (Tabela 4, p. 43), 37,46% dessa área apresentou erodibilidade alta,

62,54% erodibilidade média e em nenhuma área ocorreu solos com erodibilidade baixa (Figura 49).

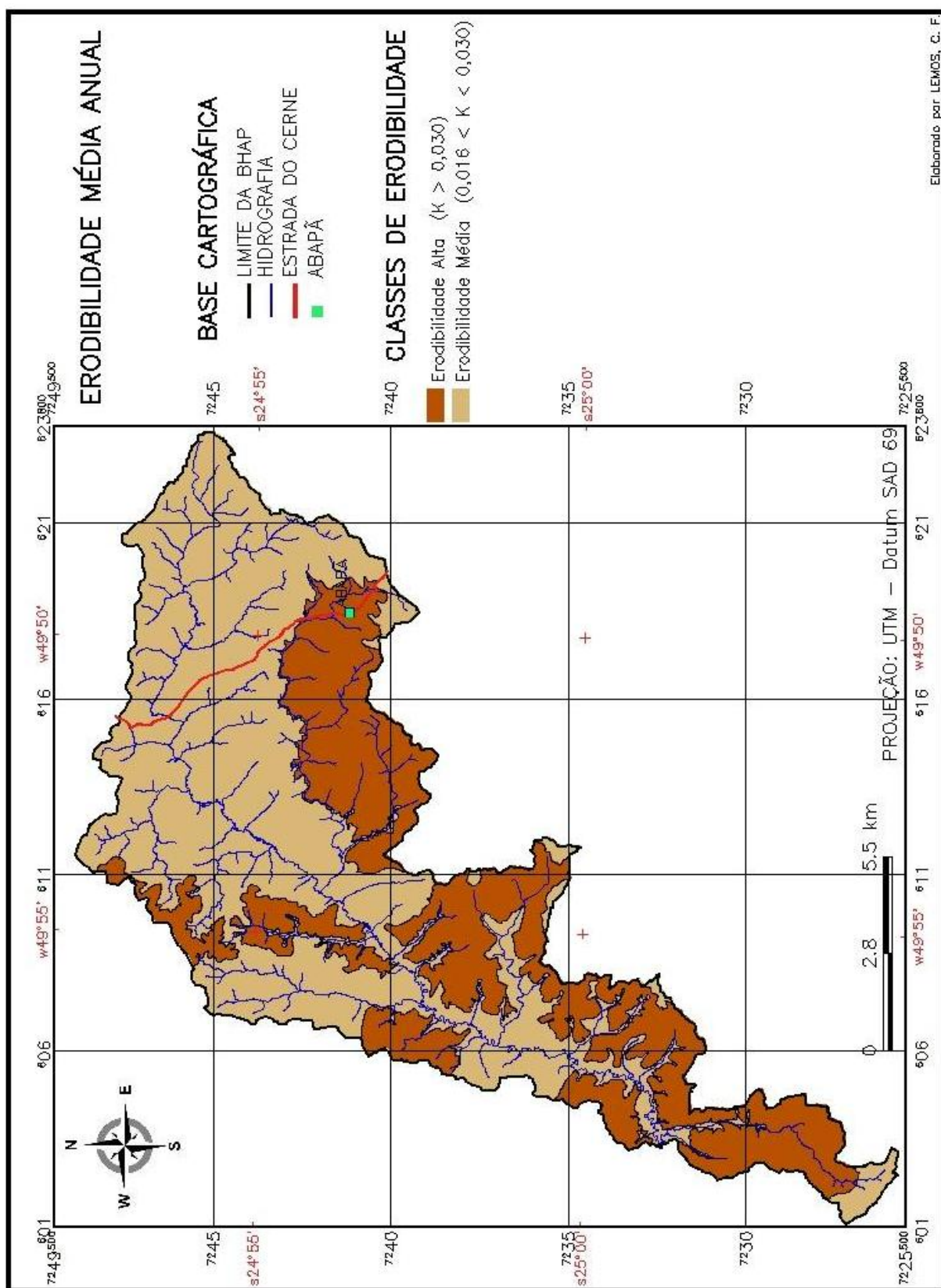


FIGURA 49 – MAPA DE ERODIBILIDADE DOS SOLOS EXISTENTES NA BHAP

NOTA: K – Erodibilidade do solo ( $t.ha^{-1}.h.mm^{-1}.ha.MJ^{-1}$ ).

### 5.2.3 Fator LS

O fator LS obtido apresentou valores médios e máximos encontrados para o comprimento de rampa de 43,280 m e 287,426 m e para a declividade de 6,77° e 65,75°, respectivamente. A Figura 50 mostra o fator LS, em que 39,77% da área total da bacia possuem LS muito baixo; 23,61% baixo; 29,94% moderado; 6,25% de moderadamente forte; 0,42% forte; e, apenas 0,01% da área apresentou LS muito forte, sendo o valor máximo obtido foi de 79,538 e a média de 1,895.

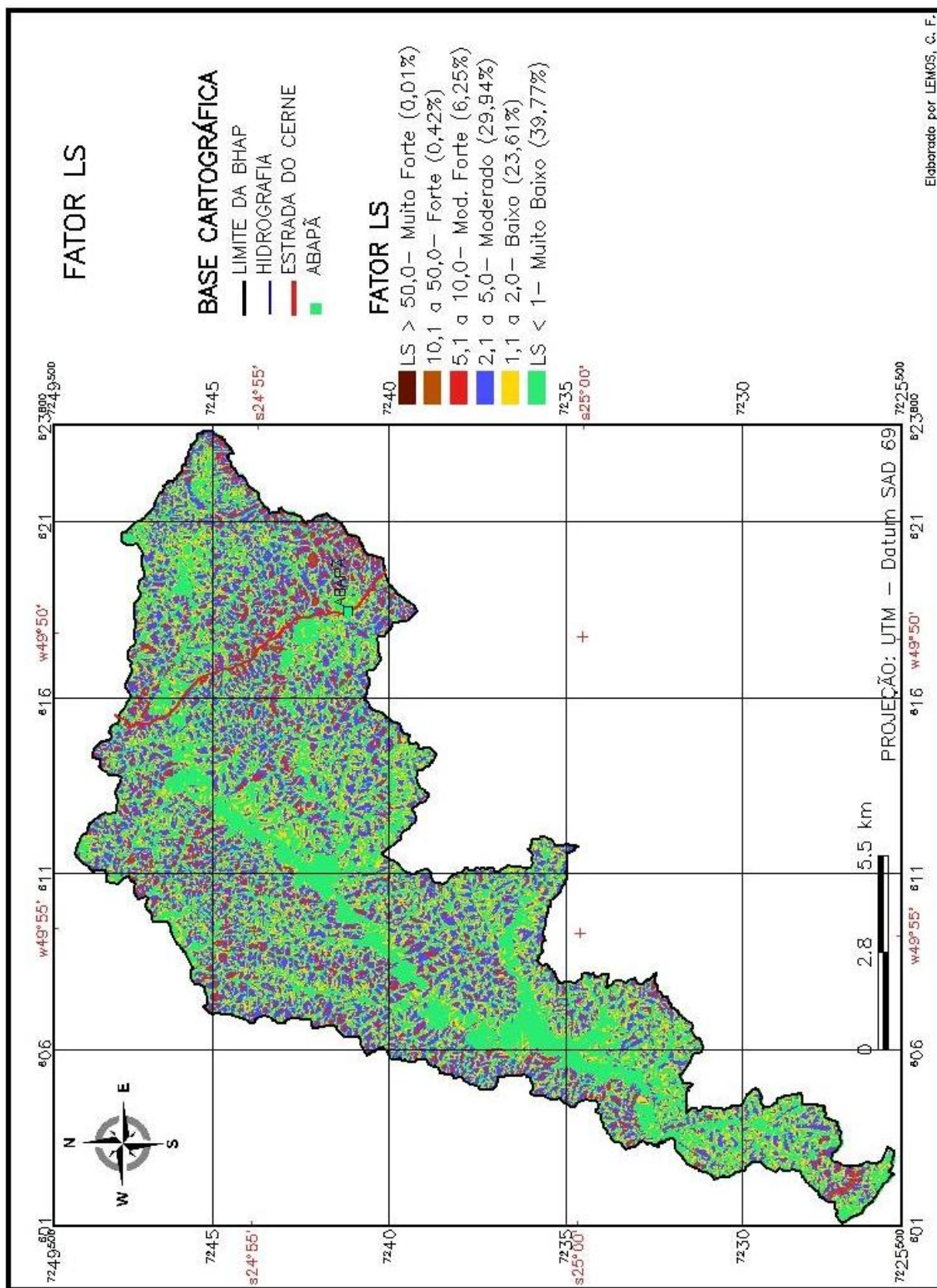


FIGURA 50 – MAPA DO FATOR LS OBTIDO PARA BHAP

#### 5.2.4 Fator C

Com as atribuições de valores para o fator C (Tabela 6, p. 45), nas imagens de satélites classificadas, foram gerados os mapas (Figura 51 e Figura 52) para os anos de 1984, 1995, 2002 e 2007. E, por meio do comando Estatística de Imagem por Polígono, no programa SPRING 5.0, obteve-se os dados apresentados na Tabela 19.

TABELA 19 – DADOS REFERENTES AO FATIAMENTO DO FATOR C PARA A BHAP

FATOR C	1984		1995		2002		2007	
	(km <sup>2</sup> )	(%)	(km <sup>2</sup> )	(%)	(km <sup>2</sup> )	(%)	(km <sup>2</sup> )	(%)
$C \leq 0,005$	13,803	8,44	14,820	9,06	16,683	10,20	5,454	3,33
$0,005 < C \leq 0,025$	93,672	57,28	79,058	48,34	79,109	48,37	90,632	55,42
$0,026 < C \leq 0,050$	25,572	15,64	24,782	15,16	37,015	22,64	31,642	19,35
$0,060 < C < 0,500$	12,311	7,53	11,020	6,74	17,173	10,50	12,818	7,84
$C \geq 0,500$	18,179	11,12	33,857	20,70	13,556	8,29	22,991	14,06

Observa-se que o fator C, entre 0,005 e 0,025 detém a maior área em todo o período analisado (57,28%; 48,34%; 48,37% e 55,42%). Valores de C maior que 0,5 ocorrem em 20,70% da área em 1995, seguido por 14,06% em 2007, 11,11% em 1984 e 8,29% para 2002.



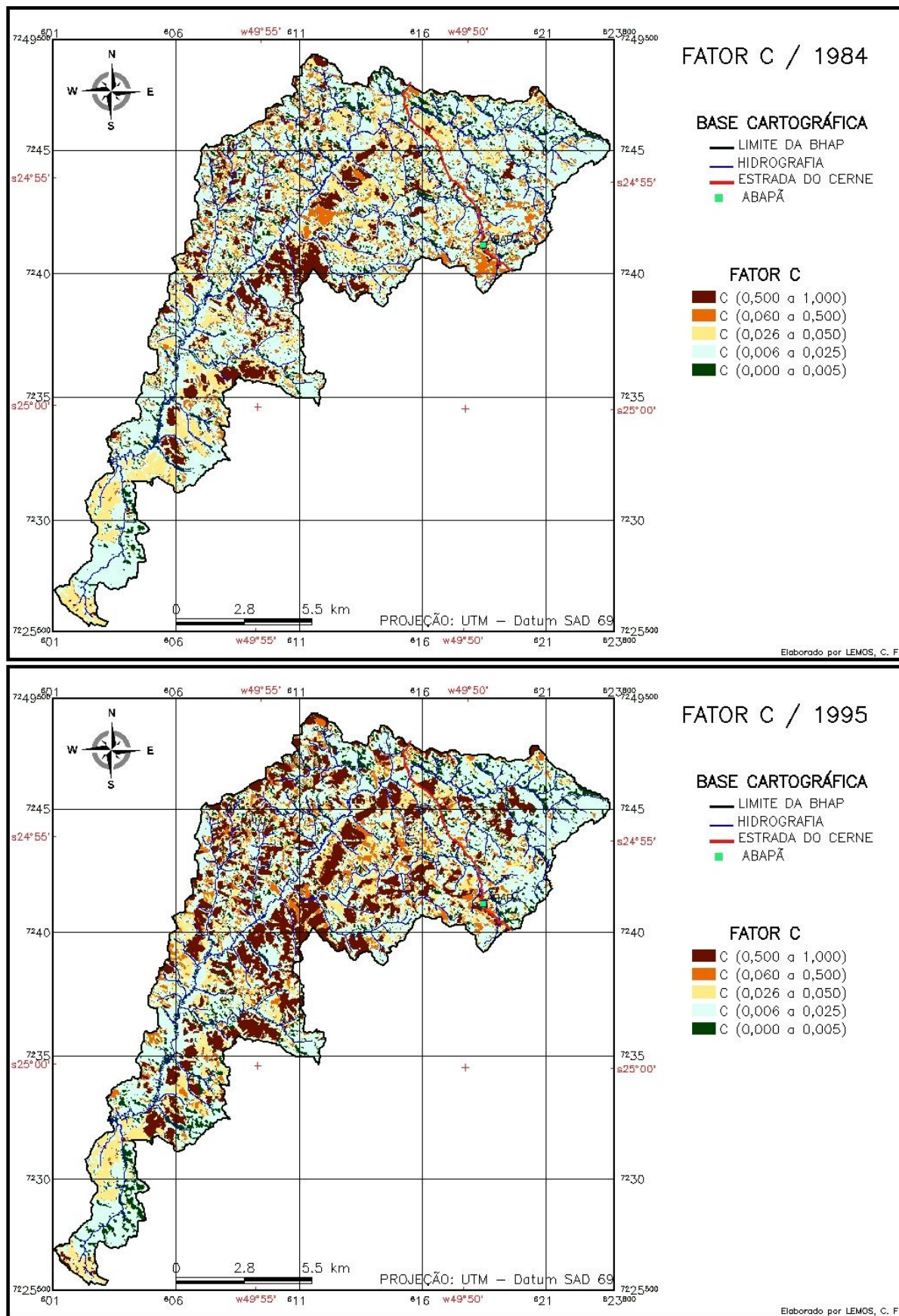


FIGURA 51 – MAPAS DO FATOR C DE 1984 E 1995 PARA BHAP

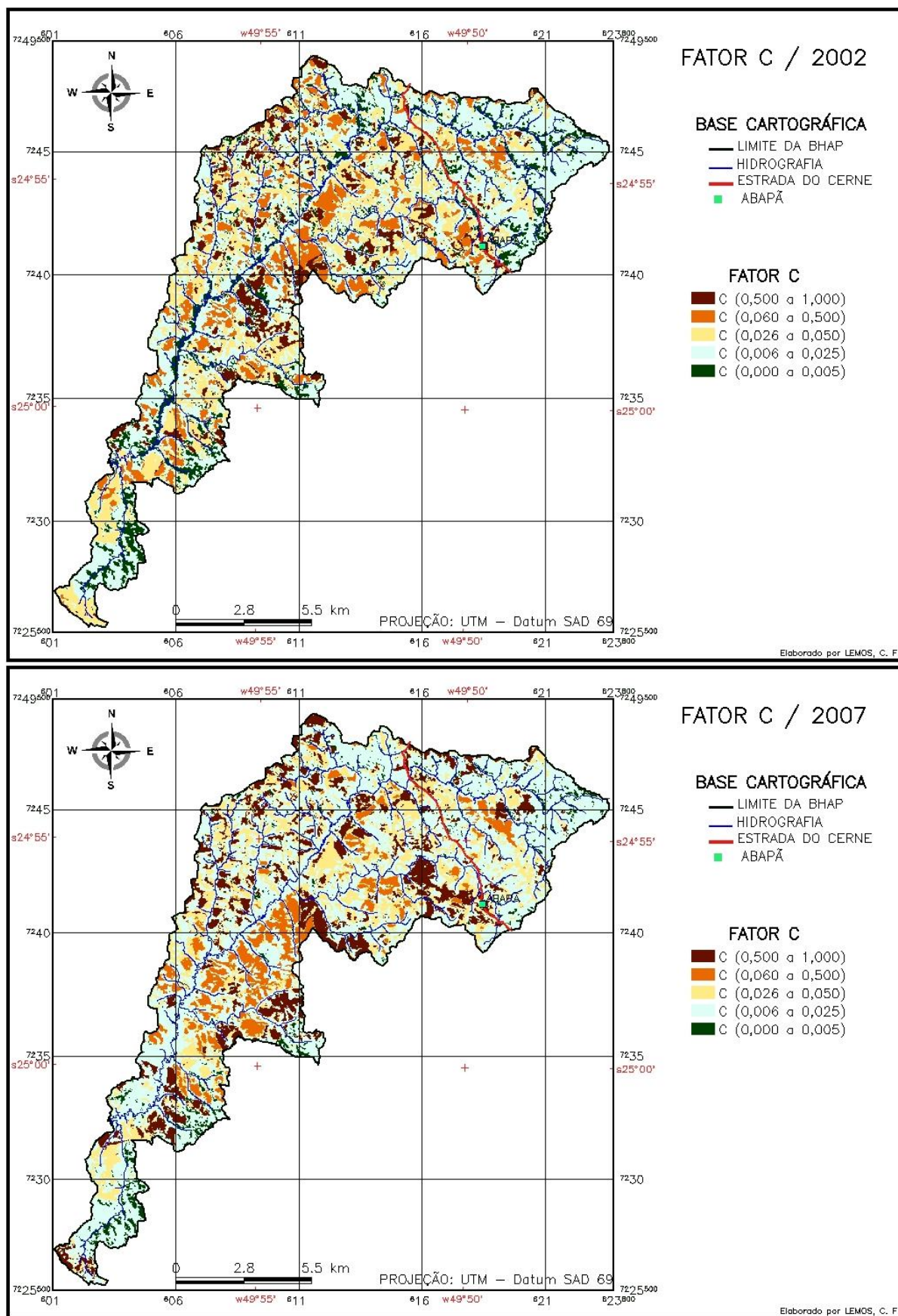


FIGURA 52 – MAPAS DO FATOR C DE 2002 E 2007 PARA BHA

### 5.2.5 Fator P

Considerou-se para o fator P os valores demonstrados na Tabela 7, p. 47, atribuídos nas imagens de satélites classificadas, em que gerou os mapas (Figura 53 e Figura 54) para os períodos avaliados. E, com o comando Estatística de Imagem por Polígono, do SPRING, obteve-se os dados apresentados na Tabela 20.

TABELA 20 – DADOS REFERENTES AO FATIAMENTO DO FATOR P PARA A BHAP

FATOR P	1984		1995		2002		2007	
	(km <sup>2</sup> )	(%)	(km <sup>2</sup> )	(%)	(km <sup>2</sup> )	(%)	(km <sup>2</sup> )	(%)
Sem P. C. (P = 1,0)	18,179	11,12	33,858	20,70	13,556	8,29	22,991	14,06
Com P. C. (P = 0,5)	60,844	37,21	49,407	30,21	74,679	45,67	59,140	36,16
Vegetação Permanente (P = 0,2)	46,486	28,42	54,805	33,52	56,409	34,49	42,701	26,11
Áreas Encharcadas (P = 0,0)	38,028	23,25	25,467	15,57	18,893	11,55	38,705	23,67

NOTA: P. C. – Práticas Conservacionistas

A maior porcentagem de área da BHAP com práticas conservacionistas ocorreu 2002, com 45,67%, seguido pelo ano de 1984, com 37,21%, 2007 com 36,16% e, por último, 1995 com 30,21%.



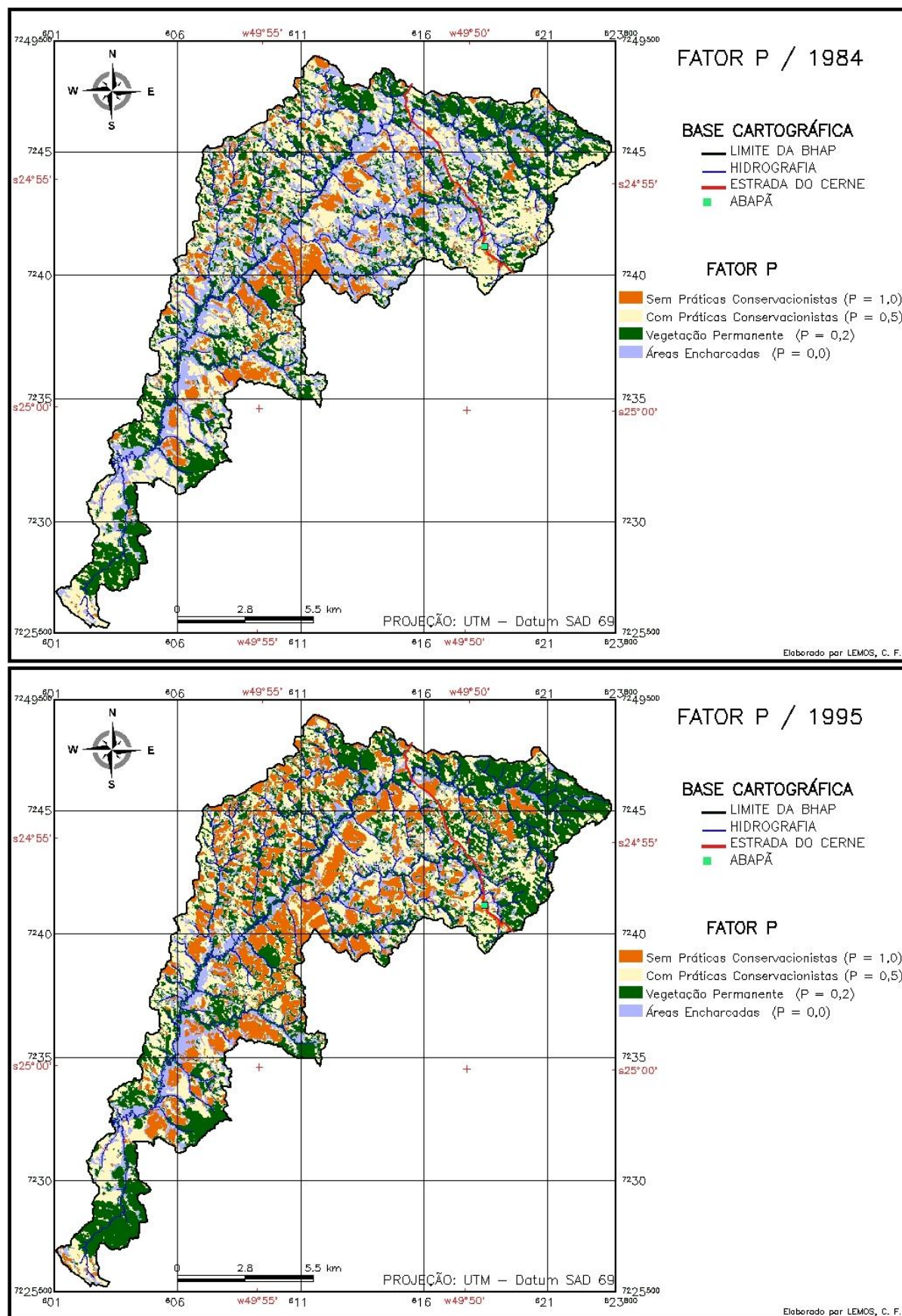


FIGURA 53 – MAPAS DO FATOR P DE 1984 E 1995 PARA BHAP

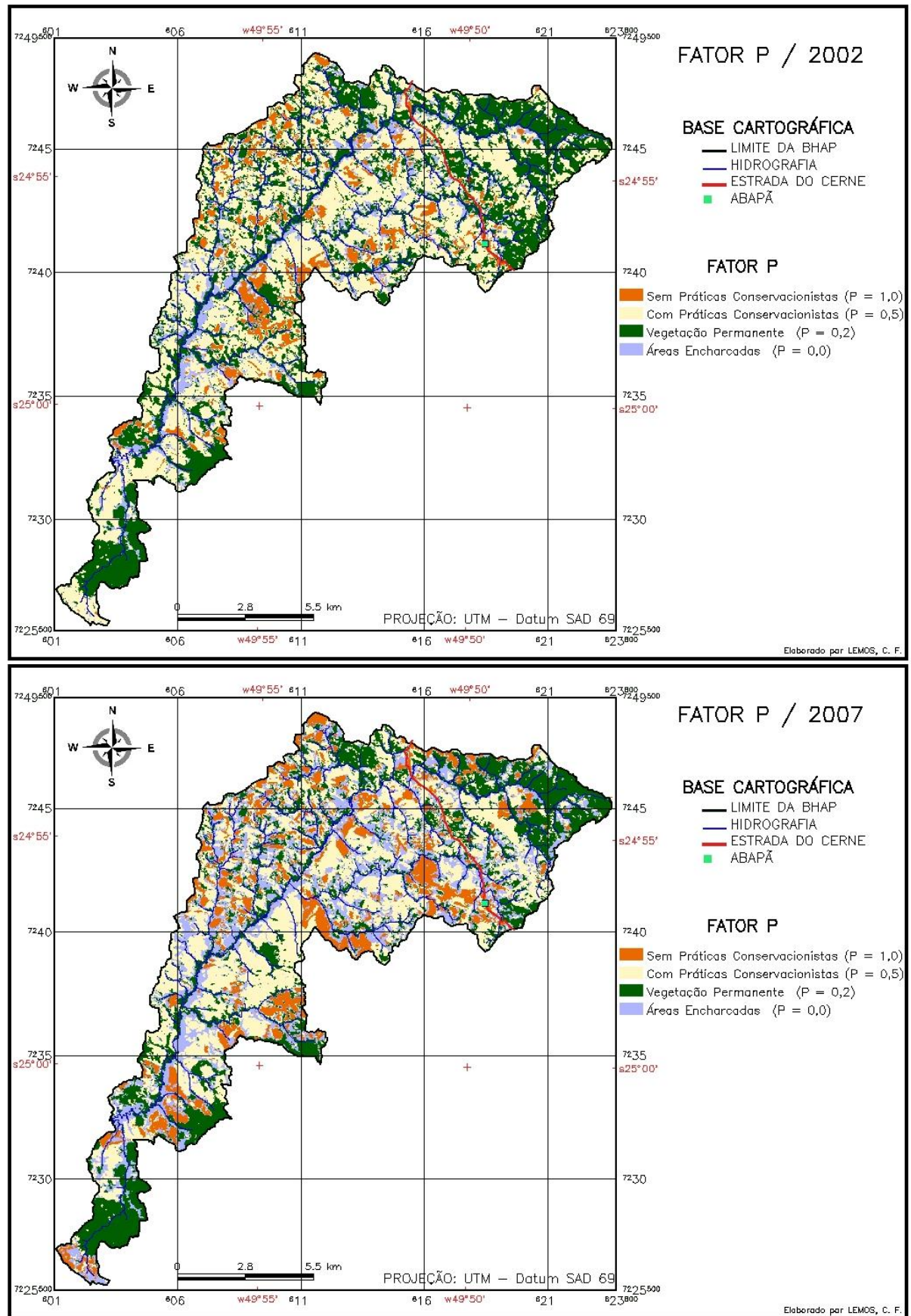


FIGURA 54 – MAPAS DO FATOR P DE 2002 E 2007 PARA BHAP

### 5.2.6 Perdas de Solo - PS

Os resultados da aplicação da EUPS estão apresentados na forma de mapas referentes às perdas de solos ocorridas nos períodos avaliados, em que se constata que as perdas classificadas como alta e muito alta ocorrem principalmente na parte central da BHAP (Figura 55 e Figura 56).

A perda média total foi de 46,04 t.ha<sup>-1</sup>.ano<sup>-1</sup> para o período avaliado, sendo que os valores médios da perda de solos, as respectivas porcentagens em relação à média total e à razão de erosão (RE) estão apresentados na Tabela 21. Observa-se que a maior média de perda de solos foi no período de 1985 a 1995 (62,61), seguida por 2003 a 2007 (46,11), 1961 a 1984 (40,04) e, por último, 1996 a 2002 (35,41). E, também, que entre os períodos de 1961 a 1984 e 1985 a 1995 houve aumento de 56,37% na taxa de erosão, seguida por um decréscimo de 43,44% entre os períodos de 1985 a 1995 e 1996 a 2002 e voltando a subir para 30,22% entre 1996 a 2002 e 2003 a 2007.

TABELA 21 – VALORES MÉDIOS DA PERDA DE SOLOS E AS RESPECTIVAS PORCENTAGENS EM RELAÇÃO À PERDA MÉDIA TOTAL OBTIDA NO PERÍODO DE 1984 A 2007 PARA A BHAP

PERÍODOS	1961 a 1984		1985 a 1995		1996 a 2002		2003 a 2007	
	t.ha <sup>-1</sup> .ano <sup>-1</sup>	(%)	t.ha <sup>-1</sup> .ano <sup>-1</sup>	(%)	t.ha <sup>-1</sup> .ano <sup>-1</sup>	(%)	t.ha <sup>-1</sup> .ano <sup>-1</sup>	(%)
PS	40,04	21,74	62,61	34,00	35,41	19,23	46,11	25,04
RE	56,37%			-43,44%		30,22%		
Valor Médio	46,04 t.ha <sup>-1</sup> .ano <sup>-1</sup>							

NOTA: PS = Perda de Solo, RE = Razão de Erosão  $\{(PS_{\text{final}} - PS_{\text{inicial}}) / PS_{\text{inicial}}\}$ .



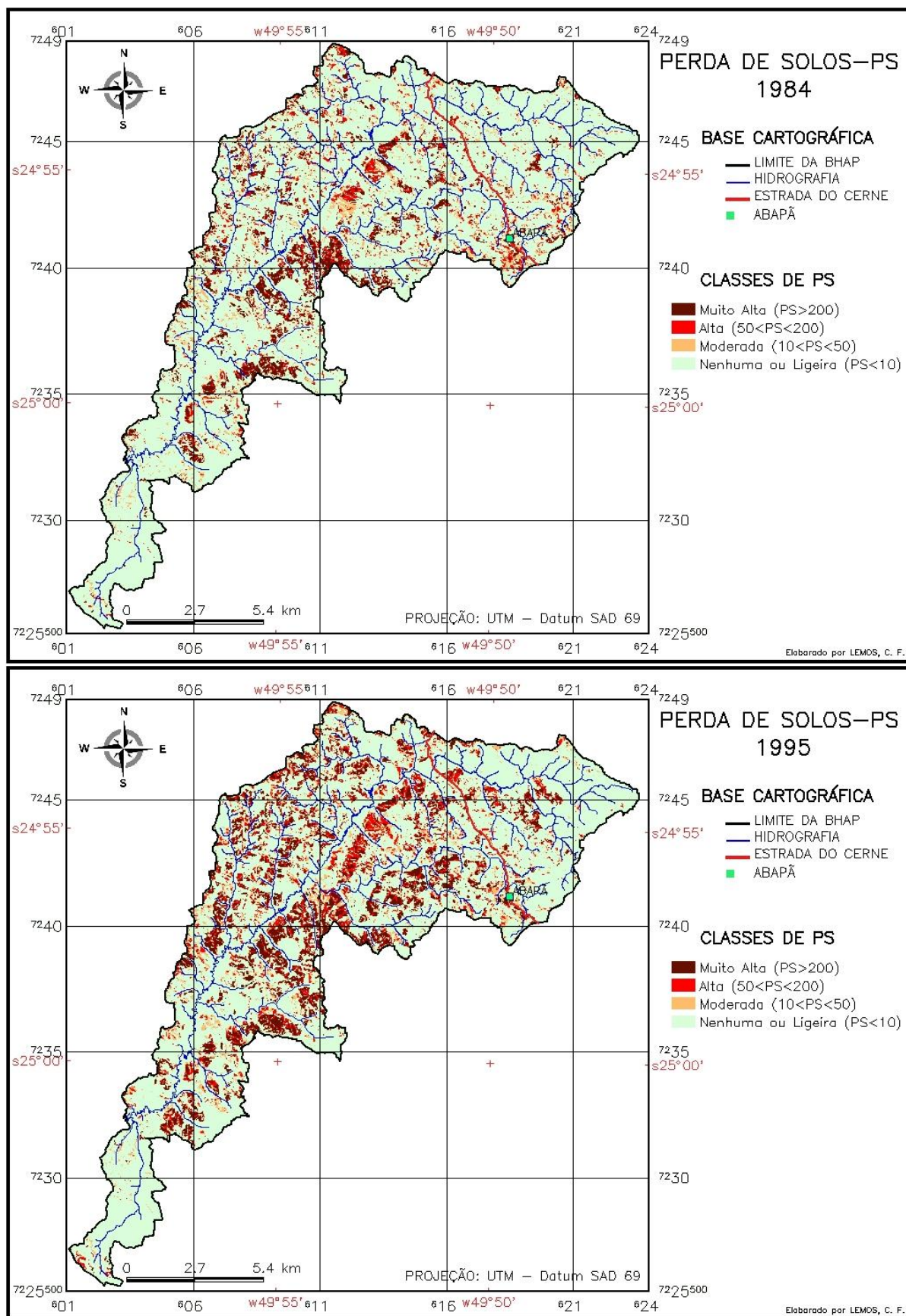


FIGURA 55 – MAPA DA PERDA DE SOLOS EM 1984 E 1995 PARA BHAP

NOTA: PS – Perda de Solos ( $t \cdot ha^{-1} \cdot ano^{-1}$ ).

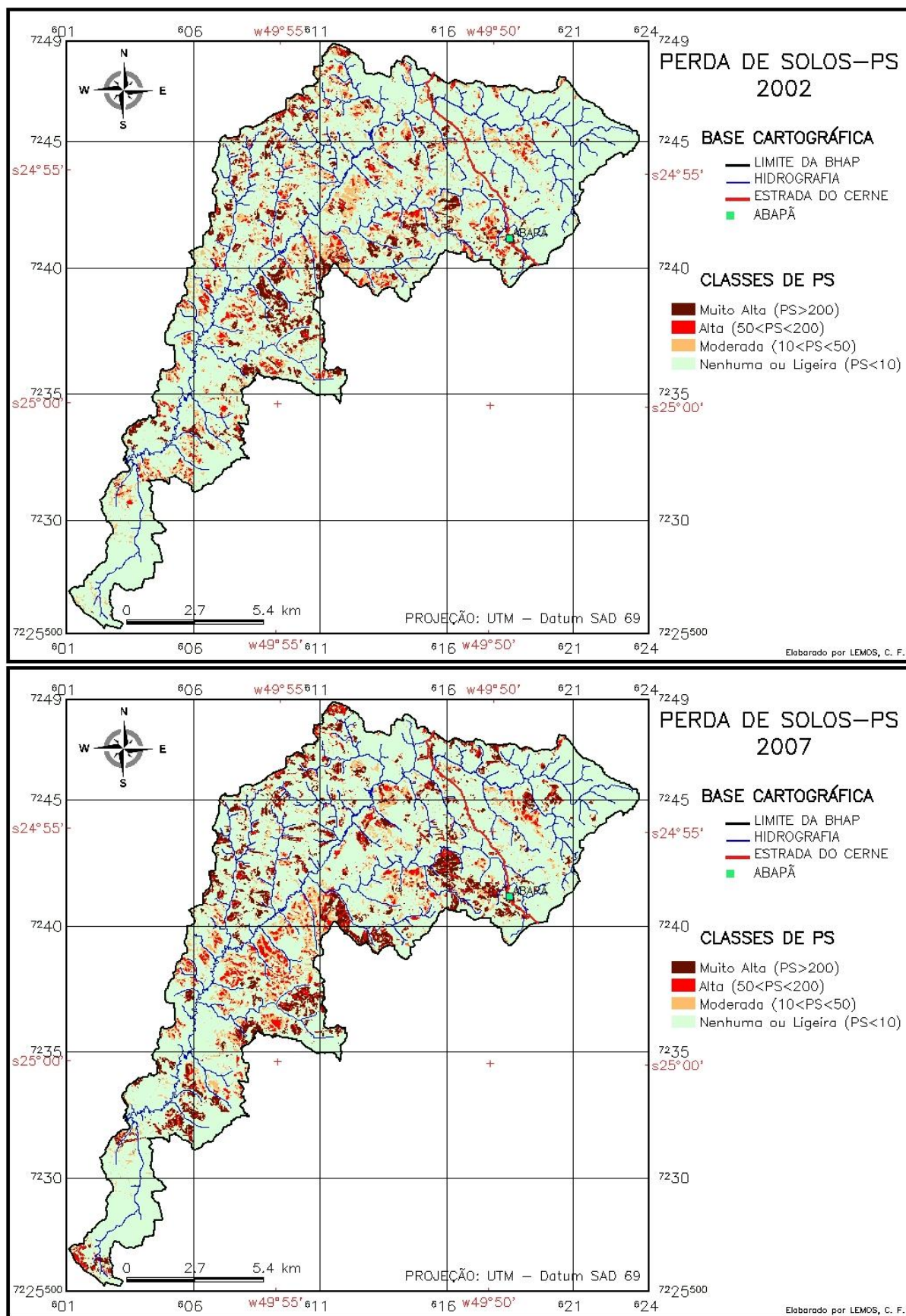


FIGURA 56 – MAPA DA PERDA DE SOLOS EM 2002 E 2007 PARA BHAP

NOTA: PS – Perda de Solos ( $t \cdot ha^{-1} \cdot ano^{-1}$ ).

Em JICA (1995) foi apresentado um estudo de perda de solos realizado no ano de 1994, em todo o estado do Paraná. Nesse estudo, aplicou-se a EUPS utilizando-se valores médios para as variáveis existentes na equação, sendo considerado o estado subdividido em 9 bacias (Cinzas, Iguaçu, Itararé, Ivaí, Piquiri, Pirapó, Ribeira, Tibagi e Litorânea). As médias das perdas foram de  $28 \text{ t.ha}^{-1}.\text{ano}^{-1}$  para todo o estado do Paraná; de  $24 \text{ t.ha}^{-1}.\text{ano}^{-1}$  para a bacia do rio Tibagi; e de  $2,2 \text{ t.ha}^{-1}.\text{ano}^{-1}$  no município de Castro.

Percebe-se que o valor médio de perda de solos ( $46,04 \text{ t.ha}^{-1}.\text{ano}^{-1}$ ) obtido para BHAP foram muito acima dos encontrados em JICA (1995), o que permite observar que o cenário do problema da erosão fica ainda pior, quando trabalha-se com dados mais detalhados e precisos nas variáveis da EUPS.

Na Figura 57, a classificação das perdas de solos, referente aos períodos estudados, está representada em forma de gráfico, sendo possível perceber que a BHAP apresenta uma variação entre 74,07% a 81,90% de sua área total com perda de solo inferior ou igual a  $10 \text{ t.ha}^{-1}.\text{ano}^{-1}$ .

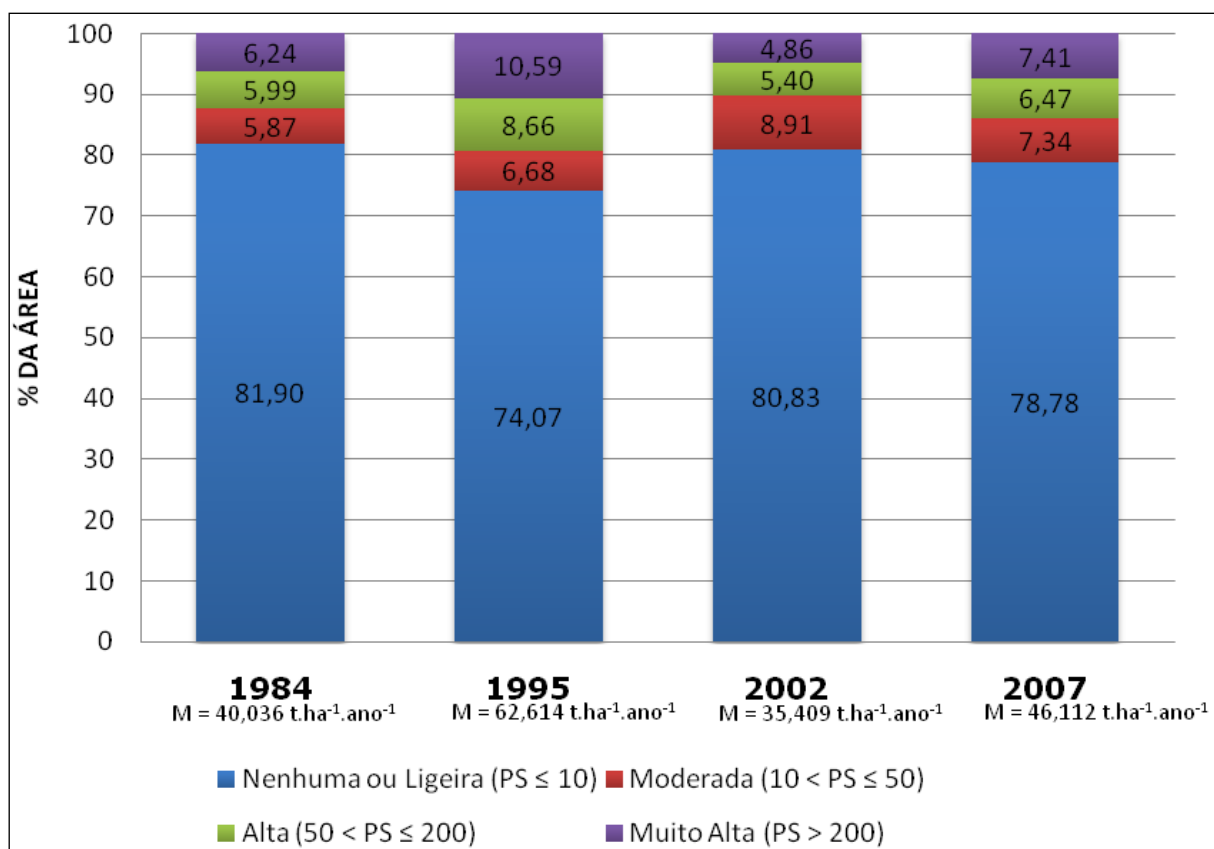


FIGURA 57 – GRÁFICO COM AS PORCENTAGENS DAS ÁREAS CONFORME A CLASSIFICAÇÃO DAS PERDAS DE SOLOS NA BHAP

NOTA: PS = Perda de solos ( $\text{t.ha}^{-1}.\text{ano}^{-1}$ ); M = Valor médio da PS ( $\text{t.ha}^{-1}.\text{ano}^{-1}$ ).

Verifica-se, também, que o período com a maior área de perda de solo, classificada como alta a muito alta, foi a de 1995, com 19,25%, sendo que nos sete anos seguintes houve uma redução para 10,26%. Porém, volta a aumentar no último período avaliado, passando para 13,88%.

Observa-se, portanto, que nos períodos de 1961 a 1984, 1985 a 1995, 1996 a 2002 e 2003 a 2007 a variação nas áreas com perdas de solos consideradas como alta a muito alta (12,23; 19,25; 10,26 e 13,88 t.ha<sup>-1</sup>. ano<sup>-1</sup>) ocorre diretamente as de cultivo (8%; 7%; 10% e 8%), e, inversamente às mudanças das áreas destinadas a campos e pastagens (16%, 15%, 23% e 19%) e reflorestamentos (14%, 8%, 12% e 9%).

Essa observação levou ao questionamento se haveria alguma forma de incentivo governamental, por meio de apoio financeiro, para práticas agropecuárias ou reflorestamentos. Por isso, pesquisou-se no site do Instituto Paranaense de Desenvolvimento Econômico e Social – IPARDES (IPARDES, 2009) sobre as produções ocorridas nos municípios de Castro, Carambeí e Ponta Grossa, local onde está situada a BHAP, para verificar qual era a tendência da economia nessa região, no mesmo período avaliado neste estudo.

Encontrou-se, então, os dados sobre a produção agrícola, pecuária e atividade extrativa vegetal ocorridas em cada um dos três municípios, para cada ano, no intervalo de 1980 a 2007. De posse desses dados, calculou-se as produções ocorridas nessas atividades, para os períodos de 1980 a 1984, de 1985 a 1995, de 1996 a 2002 e de 2003 a 2007, somando-se os valores dos três municípios e, também, as porcentagens dessas produções em relação à produção total ocorrida no período de 1980 a 2007 (Tabela 22).

TABELA 22 – TOTAL DAS PRODUÇÕES AGRÍCOLA, PECUÁRIA E EXTRATIVA VEGETAL NOS MUNICÍPIOS DE CASTRO, CARAMBEÍ E PONTA GROSSA

PRODUÇÃO	PERÍODOS AVALIADOS							
	1980 a 1984		1985 a 1995		1996 a 2002		2003 a 2007	
Agrícola Total (ha) e (%)	512.639	10,49	1.571.433	32,15	1.539.399	31,49	1.264.889	25,88
Pecuária Total (un.) e (%)	28.309.921	23,30	46.902.262	38,60	29.458.295	24,24	16.852.514	13,87
Extrativa Vegetal (m <sup>3</sup> ) e (%)	1.301.536	9,40	5.105.579	36,86	4.317.839	31,17	3.125.376	22,57

Considerou-se na produção agrícola a área destinada à plantação de alho, amendoim, arroz, aveia, batata inglesa, cevada, erva mate, feijão, mandioca, melancia, milho, pêssego, soja, sorgo, tangerina, tomate, trigo, caqui, cebola, centeio, figo, fumo, laranja, limão, maçã, pêra e uva. Na produção animal, considerou-se os números de cabeças da criação de animais: bovinos, equinos, galináceos, ovinos, suínos, asininos, bubalinos, caprinos, codornas, coelhos e muares. E, para a produção vegetal, levou-se em conta a quantidade produzida na extração de lenha, madeira em tora, madeira para papel e celulose, madeiras para outras finalidades, madeira de pinheiro e nó de pinho.

Com os dados obtidos e apresentados na Tabela 22, p. 135, foi possível elaborar o gráfico com as porcentagens das produções, ocorridas na região dos municípios de Castro, Carambeí e Ponta Grossa, e compará-las com as perdas de solos obtidas para a BHAP, no mesmo período estudado (Figura 58).

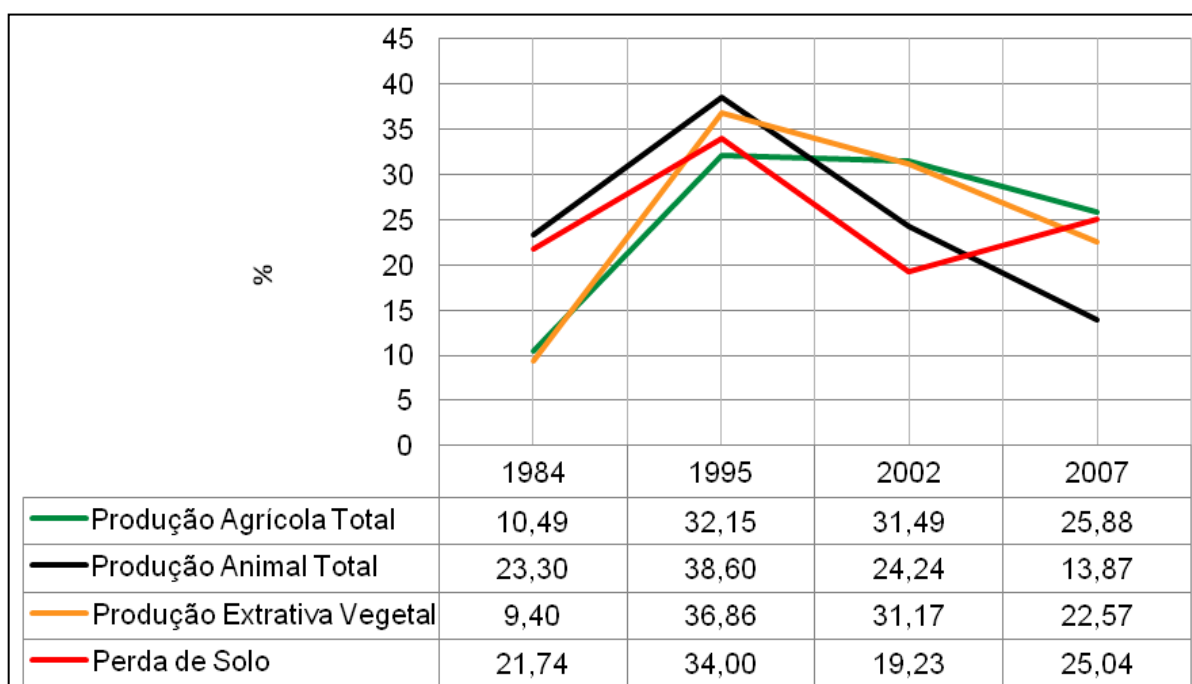


FIGURA 58 – GRÁFICO COM A PRODUÇÃO AGRÍCOLA NA REGIÃO DE CASTRO, CARAMBEÍ E PONTA GROSSA

FONTE: IPARDES (2009)

NOTA: Soma dos dados encontrados para os municípios de Castro, Carambeí e Ponta Grossa.

Verifica-se que as produções agrícolas, animal e extração vegetal, em 1984, apresentaram os valores de 10,49%, 23,30% e 9,40%, chegando, em 1995, aos ápices de 32,15%, 38,60% e 36,86%, respectivamente. Depois desse período, essas produções decresceram, chegando em 2007 com 25,88%, 13,87% e 22,57%. Ao se



comparar essas três curvas com a da perda de solo na BHAP, percebeu-se que esta apresenta características semelhantes nos períodos denominados de 1984, 1995 e 2002. Inclusive o valor mais alto de perda de solo ocorreu no período de 1985 a 1995, em que houve as maiores produções na região. Porém, no período de 2003 a 2007 os valores de perda de solo aumentaram e os da produção diminuíram.

Cabe lembrar que os valores obtidos de perda de solos são estimados e, portanto, infere-se que, além dos fatores naturais, a perda de solos sofreu grande influência da produção agropecuária e extrativa ocorridas na região, até o ano de 2002. Após esse ano, outros fatores como a diminuição das áreas de reflorestamento, vegetação primária e secundária, devido à expansão rural e o aumento da extração de minerais, tiveram uma maior contribuição para a retomada do crescimento da perda de solos.

### 5.3 DETERMINAÇÃO DAS EROSÕES CONCENTRADAS NA BHAP

As voçorocas e as ravinas, mapeadas por estereoscopia e vetorizadas no programa SPRING 5.0, resultaram em polígonos fechados, em que os cálculos das áreas e dos volumes foram obtidos conforme descrito no item 4.6 EROSÕES EM SULCOS OU CONCENTRADAS.

Com a análise das fotografias aéreas e a verificação *in loco*, nos trabalhos de campo, observou-se que a maioria das voçorocas e ravinas se encontra em áreas de decomposição intempérica de rochas graníticas e nos Cambissolos.

As erosões concentradas aparecem, principalmente, em campos de pastagens e culturas com má cobertura superficial; lugares com sulcos iniciado ao longo de valas de demarcação e trilhas de gado; em antigas estradas abandonadas; trechos com excesso de patrolamento nas estradas; ao longo de estradas vicinais com cortes de talude abruptos e destituídos de cobertura vegetal; e áreas expostas devido à retirada de solo para ser utilizado na construção de açudes.

Foram identificadas 12, 18 e 29 voçorocas para os anos de 1952, 1980 e 2001, respectivamente (Apêndice 3 e Tabela 31, Tabela 32 e Tabela 33). Para os mesmos anos, foram estimados 3.814,88 m<sup>2</sup>, 5.584,15 m<sup>2</sup> e 18.389,26 m<sup>2</sup> de área total e 3.948,79 m<sup>3</sup>, 5.814,10 m<sup>3</sup> e 28.679,74 m<sup>3</sup> do volume total das voçorocas. Já o volume total de sedimentos produzidos por essas, entre 1952 a 2001, foi calculado em 24.730,95 m<sup>3</sup> (Tabela 23).

TABELA 23 – DADOS REFERENTES ÀS VOÇOROCAS EXISTENTES NA BHAP NO PERÍODO DE 1952 A 2001

ANOS	1952	1980	2001
N.º de Voçorocas	12	18	29
Área Total (m²)	3.814,88	5.584,15	18.389,26
Volume Total (m³)	3.948,79	5.814,10	28.679,74
PERÍODOS	1952 a 1980		1981 a 2001
VS (m³)	1.865,31		22.865,64
Média do VS (m³.anor <sup>-1</sup> )	66,62		1.088,84
Total do VS	24.730,95 m³ ou 504,71 m³ .anor <sup>-1</sup>		

NOTA: VS = Volume de Sedimentos Produzidos

Para as ravinas, nas imagens de 1952, 1980 e 2001, identificou-se 76, 92 e 428, sendo os valores obtidos para as áreas totais das mesmas foram de 127.413,16 m<sup>2</sup>, 189.708,55 m<sup>2</sup> e 263.619,10 m<sup>2</sup> e os volumes totais foram de 50.965 m<sup>3</sup>, 75.883,42 m<sup>3</sup> e 105.447,64 m<sup>3</sup>, respectivamente. O volume total de sedimentos produzidos somente pelas ravinas, entre 1952 a 2001, foi estimado em 54.482,37 m<sup>3</sup> (Tabela 24).

TABELA 24 – DADOS REFERENTES ÀS RAVINAS EXISTENTES NA BHAP NO PERÍODO DE 1952 A 2001

ANOS	1952	1980	2001
N.º de Ravinas	76	92	428
Área Total (m²)	127.413,16	189.708,55	263.619,10
Volume Total (m³)	50.965,27	75.883,42	105.447,64
PERÍODOS	1952 a 1980		1981 a 2001
VS (m³)	24.918,15		29.564,22
Média do VS (m³.ano <sup>-1</sup> )	889,93		1.407,82
Total do VS	54.482,37 m³ ou 1.111,885 m³.ano <sup>-1</sup>		

NOTA: VS = Volume de Sedimentos Produzidos

Para os períodos entre 1952 a 1980 e 1981 a 2001, os volumes da produção de sedimentos produzidos pelas voçorocas foram de 1.865,31 m<sup>3</sup> e 22.865,64 m<sup>3</sup>, e pelas ravinas foram de 24.918,15 m<sup>3</sup> e 29.564,22 m<sup>3</sup> (Tabela 23 e Tabela 24). De um período para outro, o aumento dessa produção de sedimentos foi de 1.225,84% para as voçorocas e de 118,64% para as ravinas. O aumento da produção de

sedimentos das voçorocas foi mais de 1.000 % maior do que as das ravinas. Essa diferença pode ser explicada pela evolução de algumas ravinas existentes até o estágio das voçorocas, devido atuação mais eficiente do escoamento superficial.

Na área da BHAP identificou-se, também, sete locais de extração mineral, do tipo saibreiras e/ou cascalheiras, sem qualquer planejamento técnico e, aparentemente, algumas seriam clandestinas (Figura 59 e Figura 60).



COORDENADAS P01: UTM – 607.608, 7.236.573 e GEOGRÁFICA – 24°58'57" S, 49°56'02" W.



COORDENADAS P03: UTM – 607.987, 7.240.828 e GEOGRÁFICA – 24°56'39" S, 49°55'50" W.



COORDENADAS P06: UTM – 608.827, 7.244.639 e GEOGRÁFICA – 24°54'34" S, 49°55'21" W.

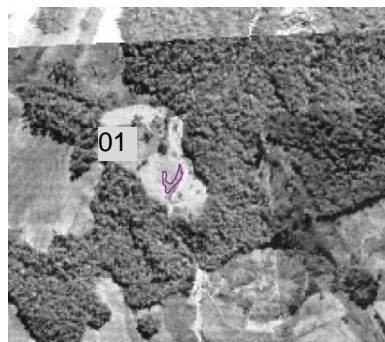
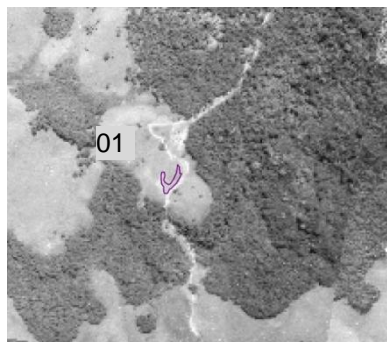
FIGURA 59 – LOCAIS DE EXTRAÇÃO MINERÁRIA VISITADOS



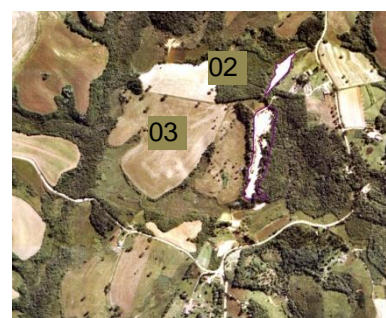
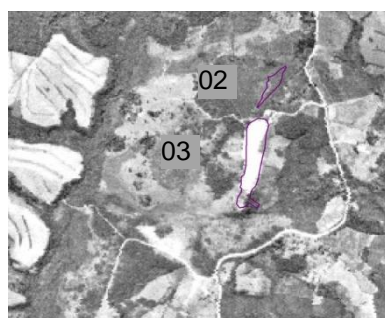
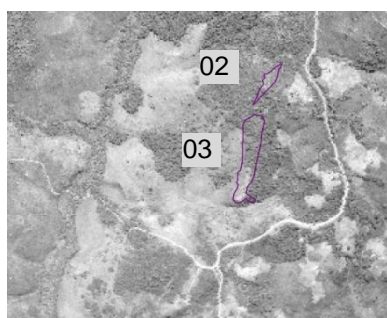
1952

1980

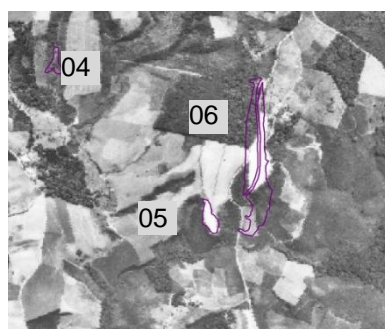
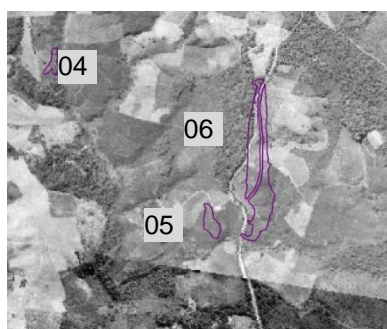
2001



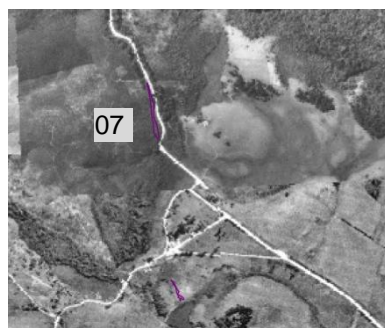
COORDENADAS P01: UTM – 607.608, 7.236.573 e GEOGRÁFICA – 24°58'57" S, 49°56'02" W.



COORDENADAS P02: UTM – 608.054, 7.241.090 e GEOGRÁFICA – 24°56'48" S, 49°55'48" W.  
COORDENADAS P03: UTM – 607.987, 7.240.828 e GEOGRÁFICA – 24°56'39" S, 49°55'50" W.



COORDENADAS P04: UTM – 608.083, 7.244.971 e GEOGRÁFICA – 24°54'24" S, 49°55'48" W.  
COORDENADAS P05: UTM – 608.664, 7.244.385 e GEOGRÁFICA – 24°54'43" S, 49°55'27" W.  
COORDENADAS P06: UTM – 608.827, 7.244.639 e GEOGRÁFICA – 24°54'34" S, 49°55'21" W.



COORDENADAS P07: UTM – 615.444, 7.246.418 e GEOGRÁFICA – 24°53'35" S, 49°51'26" W.

FIGURA 60 – EVOLUÇÃO DOS LOCAIS COM EXTRAÇÃO MINERÁRIA EXISTENTES NA BHAP

O objetivo dessas extrações é utilizar os materiais retirados (cascalho e saibro) na tentativa de amenizar as deficiências das vias de acesso da região, por meio de serviços de manutenção das estradas vicinais (UEPG, 2002). Observou-se que muitos desses locais se encontram desativados e sem qualquer obra de recuperação ambiental e, por isso, desencadearam-se processos erosivos intensos, principalmente devido à supressão da vegetação e abandono.

Para os locais identificados como extração mineral foi calculado a área e o volume de material retirado, no período de 1952 a 1980 e de 1981 a 2001, sendo impossível saber qual é a parcela de sedimentos produzidos. Verificou-se que houve um acréscimo na área de extração de 78,63%, ou seja, de 38.904,80 m<sup>2</sup> passou para 69.495,43 m<sup>2</sup> e no volume de material retirado de 89,52%, de 146.671,94 m<sup>3</sup> aumentou para 277.972,24 m<sup>3</sup> (Tabela 25).

TABELA 25 – VALORES DAS ÁREAS TOTAIS E DOS VOLUMES DE MATERIAL EXTRAÍDO NAS ATIVIDADES MINERÁRIAS OCORRIDAS NA BHAP NO PERÍODO DE 1952 A 2001

ATIVIDADE MINERÁRIA	1952 a 1980		1981 a 2001	
	Área (m <sup>2</sup> )	Volume (m <sup>3</sup> )	Área (m <sup>2</sup> )	Volume (m <sup>3</sup> )
01	---	---	1.457,27	6.063,27
02	---	---	3.879,20	6.031,52
03	15.560,81	44.850,28	18.470,03	72.231,45
04	---	---	3.057,02	5.576,01
05	5.446,94	5.905,89	4.799,30	6.249,09
06	17.897,05	95.915,77	36.007,08	172.560,95
07	---	---	1.825,53	9.259,94
<b>TOTAIS</b>	<b>38.904,80</b>	<b>146.671,94</b>	<b>69.495,43</b>	<b>277.972,24</b>

Verificou-se uma intensificação dos processos erosivos concentrados, durante todo período analisado, e isso se deve, principalmente, aos fatores antrópicos, além dos fatores exógenos naturais da dinâmica terrestre (clima, relevo e natureza do solo).

#### 5.4 PROPRIEDADES DA REDE DE DRENAGEM DA BHAP

As propriedades de drenagem são características particulares do traçado da rede de drenagem, que podem estar relacionadas ao tipo de embasamento litológico, à forma de relevo, aos tipos de solo, ao clima e, também, à presença de eventos tectônicos (LIMA, 2002). Observou-se os seguintes padrões de drenagem e anomalias: subparalelo, treliças, treliças recurvadas, treliças falhas, subtreliças,



subdendrítico, retangular, radial centrífuga e anelar, conforme assinalado no mapa a seguir (Figura 61).

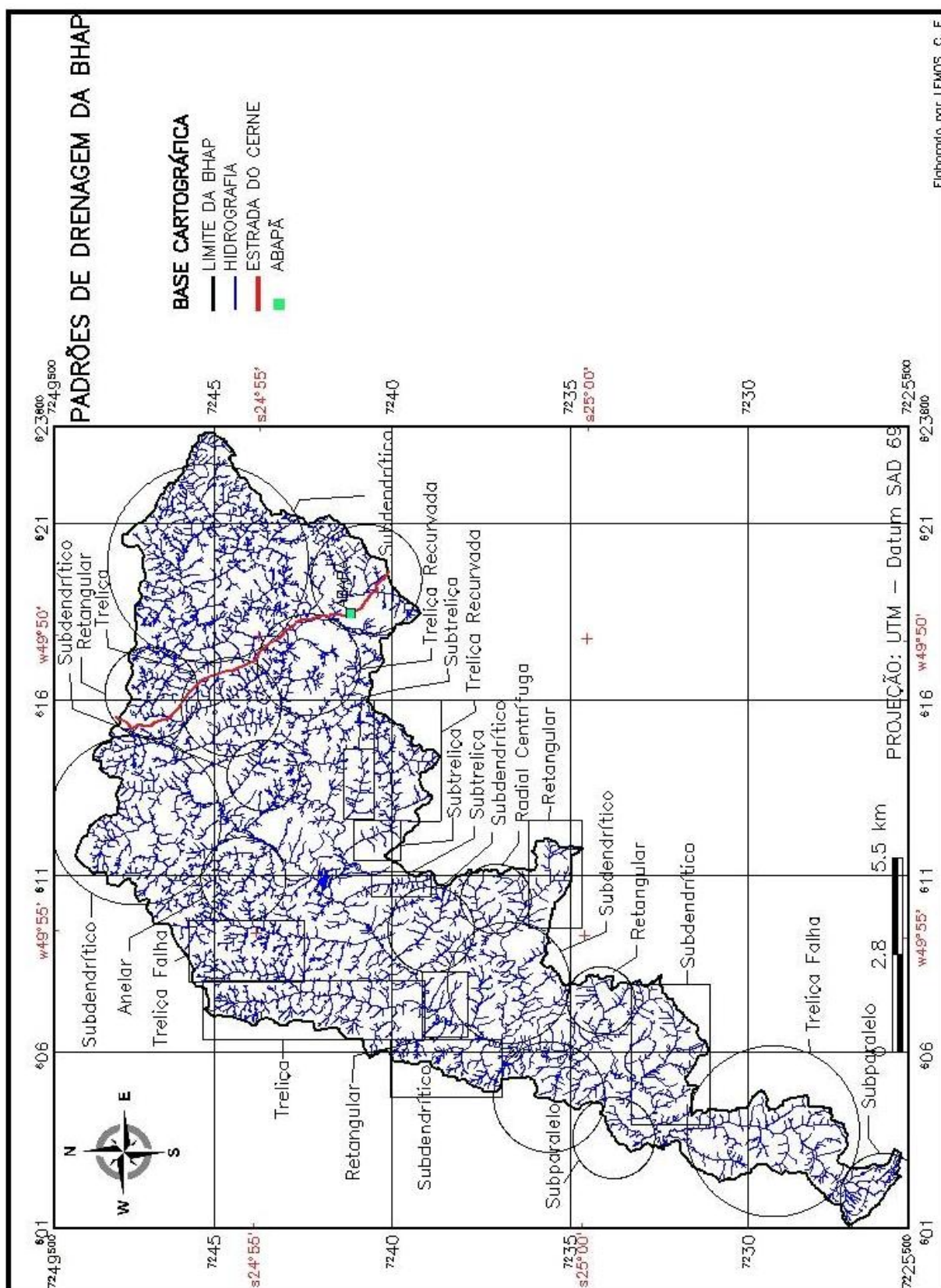
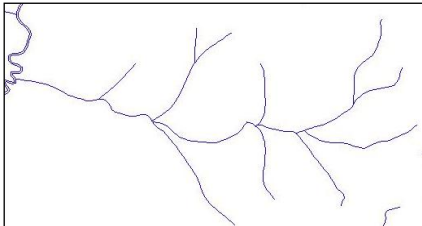
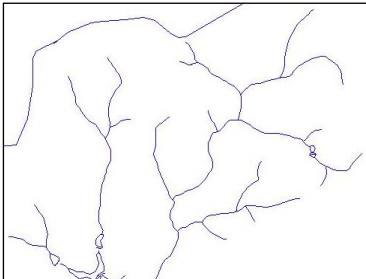
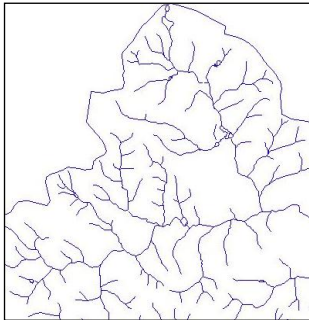
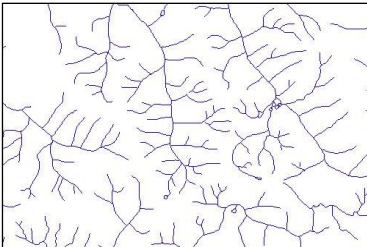

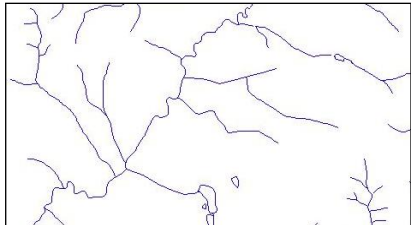
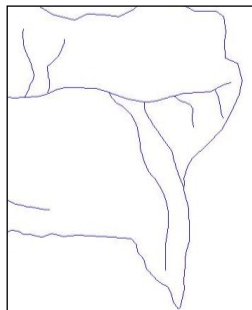
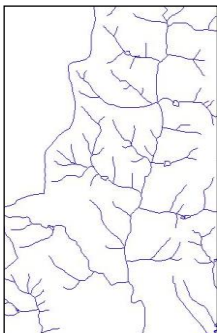
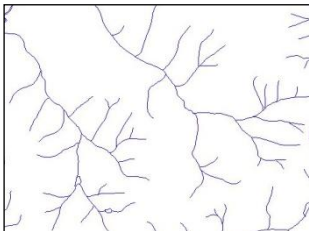
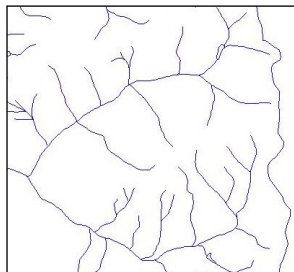


FIGURA 61 – MAPA COM OS PADRÕES DE DRENAGEM DA BHAP

As principais propriedades analisadas no padrão de drenagem, com o objetivo de identificar parâmetros físicos do terreno estão apresentadas no Quadro 3.

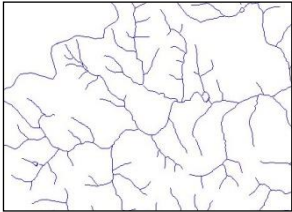
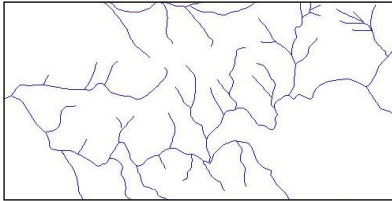
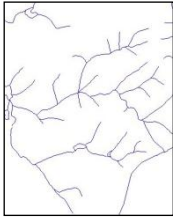
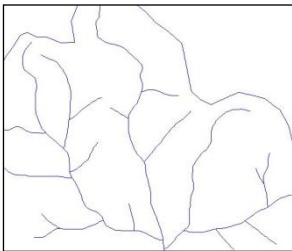
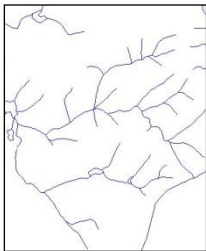
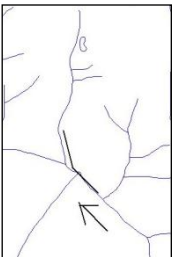
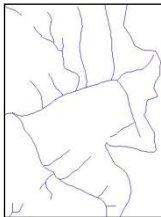
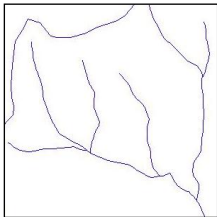
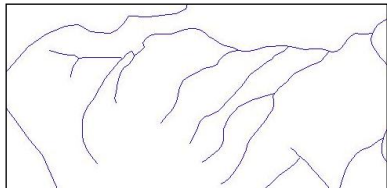

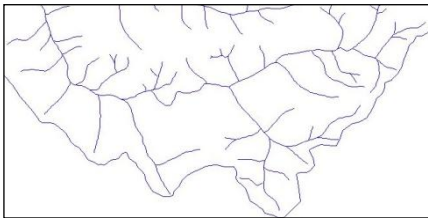
QUADRO 3 – PROPRIEDADES DA DRENAGEM DA BHAP

DESCRIÇÃO / EXEMPLOS			
<p>Grau de Integração: aparecem áreas com características de sinuosidade menor e outras com maior, devido à topografia. Portanto, o grau de integração será considerado de médio (<math>I_m</math>) para baixo (<math>I_b</math>).</p>			
Alto	Médio	Baixo	
			
<p>Densidade de Drenagem: a área apresenta densidade de drenagem alta (da), pois tem distância média do interflúvio menor que 1 km, característica de terrenos impermeáveis.</p> <p>Densidade de Canais: verificou-se que prevalece a média densidade de canais nesta bacia, porém há áreas com alta densidade, com padrão de drenagem do tipo treliça e baixa densidade, próxima à margem esquerda do canal principal. Observou-se o predomínio de canais retos nos afluentes, provavelmente controlados por falhas ou juntas, e meândrico no canal principal, que estaria ligado a elevados teores de silte e argila, devido aos processos de erosão.</p>			
Alta	Média	Baixa	
			
<p>Tropia: encontra-se, nesta bacia, quatro diferentes tipos de tropia: bidirecional, tridirecional e multidirecional ordenada e desordenada; porém, há o predomínio de tropia bidirecional e, portanto, pode-se afirmar que o Grau de Controle é forte.</p>			
Bidimensional	Tridimensional	Multidimensional Desordenada	Multidimensional Ordenada
			

Continua



Continuação

DESCRIÇÃO / EXEMPLOS		
<p><b>Sinuosidade:</b> verifica-se, em alguns trechos, a presença de uma marcante e abrupta sinuosidade, que mostra uma anomalia no terreno retratada por controle estrutural ou até mesmo litológico; e, em outros, há retilinearidade alta, por possuir 50% do comprimento total do afluente com orientação retilínea.</p>		
<p><b>Curvos</b></p> 	<p><b>Mistos</b></p> 	<p><b>Retilíneos</b></p> 
<p><b>Ângulo de Junção:</b> nessa bacia, há pouquíssimos canais com ângulo obtuso, porém verifica-se uma quantidade grande e aproximada de ângulos agudos e retos.</p>		
<p><b>Agudo</b></p> 	<p><b>Reto</b></p> 	<p><b>Obtuso</b></p> 
<p><b>Angularidade:</b> existe modificação brusca da trajetória de drenagem, no canal principal, nos arroios São Sebastião, Serraria, Santa Rita, Butiá e no rio Bueno, que indicam a influência de fatores estruturais.</p>		
<p><b>Alta</b></p> 	<p><b>Média</b></p> 	<p><b>Baixa</b></p> 
<p><b>Assimetria:</b> a característica notória do vale do rio Pitanguí é a assimetria, sendo que sua margem direita é menor e com maior densidade de drenagem do que a sua margem esquerda. Verifica-se, também, a mesma característica no arroio Butiá, onde a erosão lateral pode ter sido provocada pelo basculamento, resultando na formação de terraço.</p>		
<p><b>Forte</b></p> 	<p><b>Fraca</b></p> 	

Com os traçados da hidrografia, realizados nas imagens resultantes dos mosaicos das fotos de 1952 e 2001 (Figura 62 e Figura 63), foi possível obter as



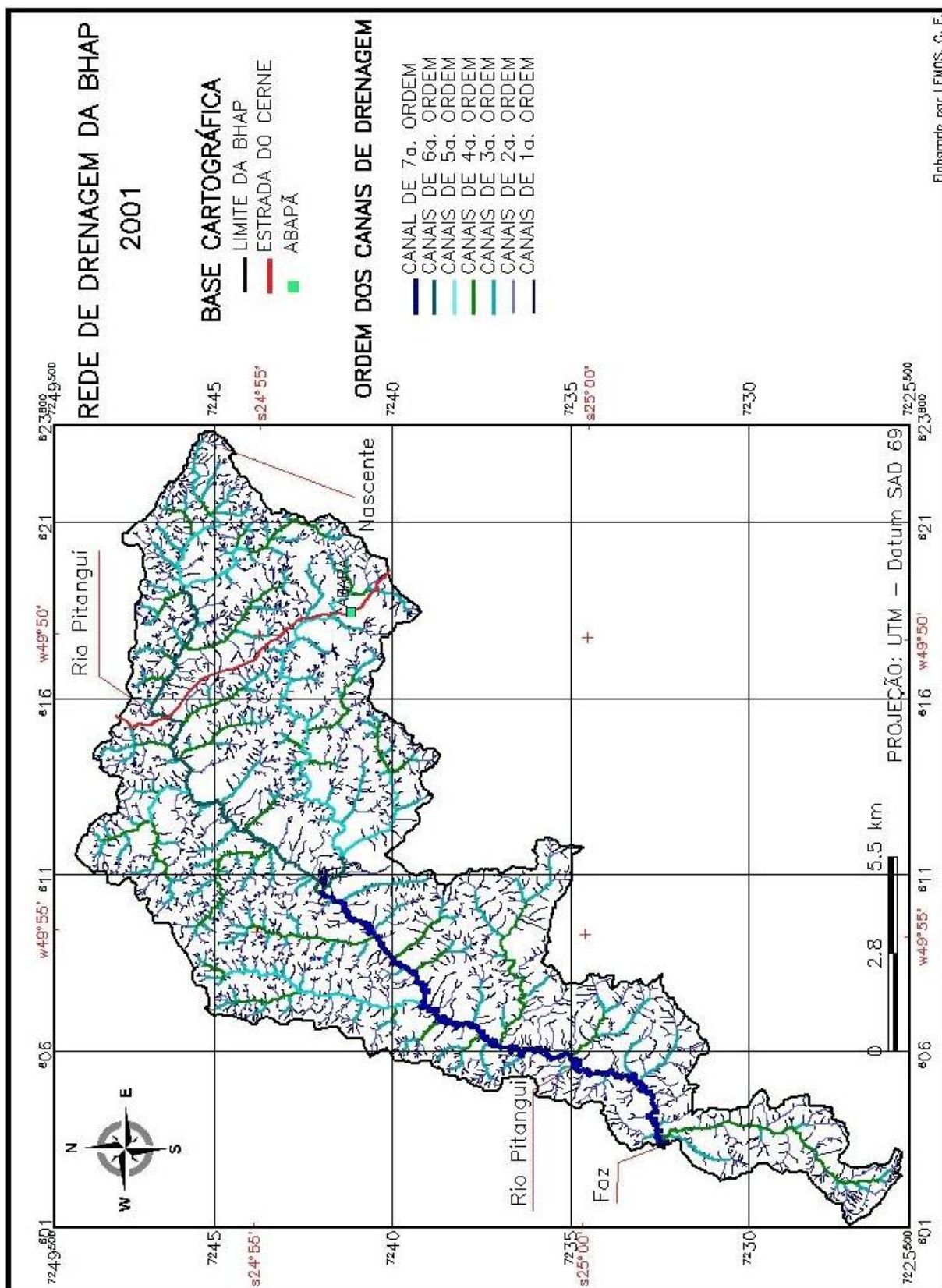


FIGURA 63 – REDE DE DRENAGEM DA BHAP EM 2001



No detalhe de uma pequena área dentro da BHAP (Figura 64) é possível mostrar e exemplificar as variações significativas ocorridas na rede de drenagem, devido à ação de quase 50 anos de atividades antrópicas. Atividades essas como a construção de várias lagoas artificiais (setas azuis), a abertura de novos canais de drenagem (setas vermelhas), o avanço da agricultura sob as nascentes (seta preta) e a mudança no traçado de alguns trechos de rios (seta roxa).

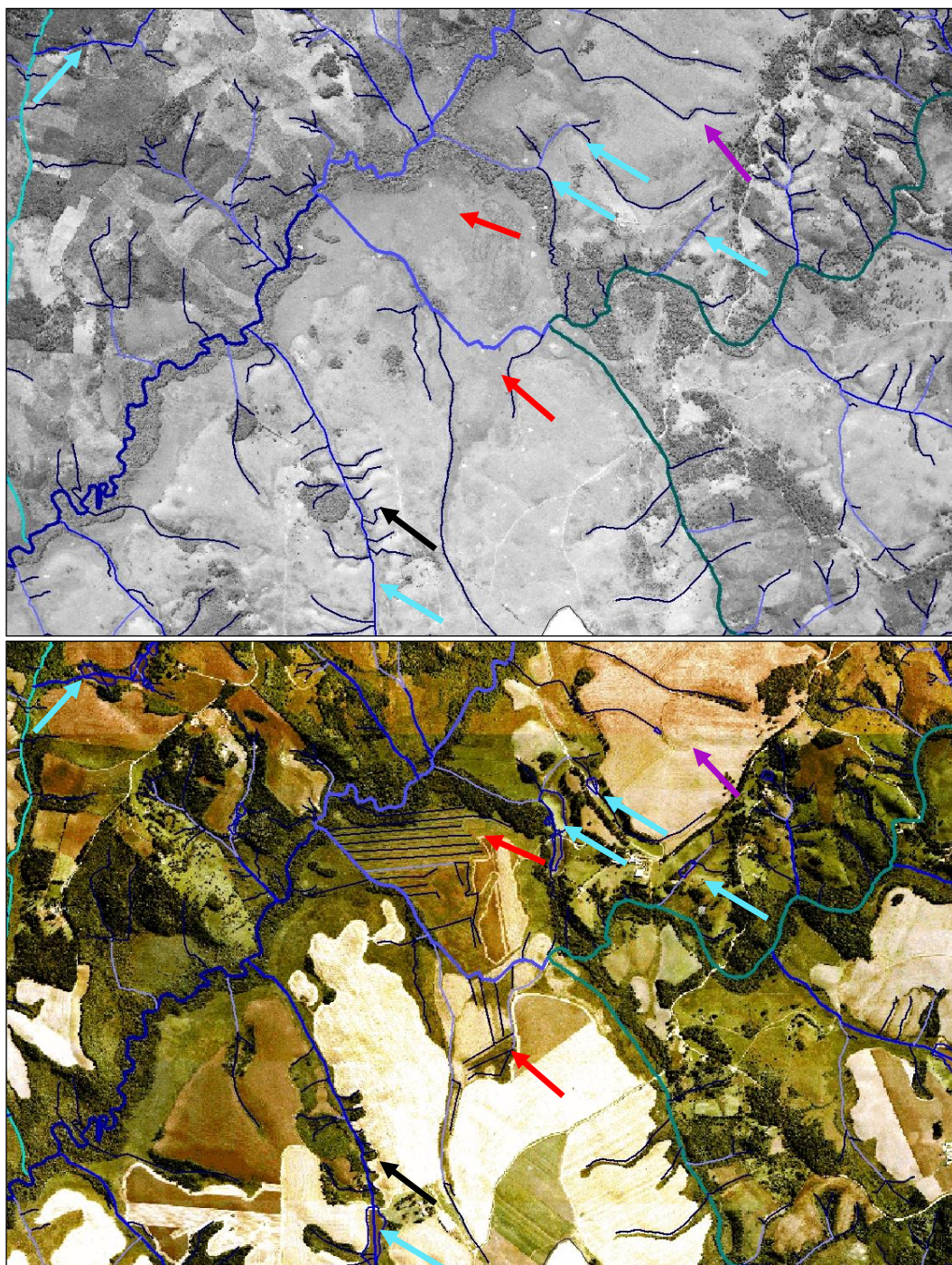


FIGURA 64 – DETALHES DA REDE DE DRENAGEM DE 1952 E AÇÃO ANTRÓPICA OCORRIDA EM 2001 NA BHAP

Ao se avaliar o traçado da rede hidrográfica existente em 1952 e 2001 observa-se, primeiramente, um aumento na quantidade de canais de 1.<sup>a</sup> e 2.<sup>a</sup> ordem, que passaram de 3.473 e 822 para 3.495 e 827 canais, ou seja, um acréscimo de, aproximadamente, 0,63% e 0,61%. Nos trechos de rios classificados como 3.<sup>a</sup> ordem, o aumento foi de 0,53%, passando de 188 para 189 canais. Com o aumento do número de canais ocorreu, também, o aumento nos comprimentos, os quais inicialmente, eram de 465,553, 204,026 e 104,051 km, e passaram a ser de 469,609, 205,876 e 104,265 km, resultando num acréscimo de 0,87%, 0,91% e 0,21%, respectivamente. Nas demais ordens, mantiveram-se a mesma quantidade e comprimento. Para o comprimento total dos canais, o aumento foi de 0,67%, passando de 909,032 km para 915,152 km (Tabela 26).

TABELA 26 – VARIAÇÕES VERIFICADAS NO PERÍODO DE 1952 A 2001 NA REDE DE DRENAGEM DA BHAP

ORDEM	1952					2001				
	n <sub>i</sub> (un.)	L <sub>i</sub> (km)	R <sub>B</sub>	L <sub>mi</sub> (km)	R <sub>Lm</sub>	n <sub>i</sub> (un.)	L <sub>i</sub> (km)	R <sub>B</sub>	L <sub>mi</sub> (km)	R <sub>Lm</sub>
1. <sup>a</sup>	3.473	465,553	4,225	0,134	-----	3.495	469,609	4,226	0,134	-----
2. <sup>a</sup>	822	204,026	4,372	0,248	1,852	827	205,876	4,376	0,249	1,853
3. <sup>a</sup>	188	104,051	4,821	0,553	2,230	189	104,265	4,846	0,552	2,216
4. <sup>a</sup>	39	62,275	6,500	1,597	2,885	39	62,275	6,500	1,597	2,894
5. <sup>a</sup>	6	29,481	3,000	4,914	3,077	6	29,481	3,000	4,914	3,077
6. <sup>a</sup>	2	19,434	2,000	9,717	1,978	2	19,434	2,000	9,717	1,978
7. <sup>a</sup>	1	24,212	-----	24,212	2,492	1	24,212	-----	24,212	2,492
<b>TOTAL</b>	<b>4.531</b>	<b>909,032</b>				<b>4.559</b>	<b>915,152</b>			

NOTA: n<sub>i</sub> = Número de canais de ordem "i"; L<sub>i</sub> = Comprimento dos canais de ordem "i"; R<sub>B</sub> = Relação de Bifurcação; L<sub>mi</sub> = Comprimento médio dos canais de ordem "i"; R<sub>Lm</sub> = Razão do Comprimento médio dos canais.

A razão de bifurcação (R<sub>B</sub>) teve o valor mínimo de 2,0 para o canal de 6.<sup>a</sup> ordem e máximo de 6,5 para os canais de 4.<sup>a</sup> ordem para todo o período avaliado. Porém, os canais de 1.<sup>a</sup>, 2.<sup>a</sup> e 3.<sup>a</sup> ordem apresentaram variação de 4,225, 4,372 e 4,821 para 4,226, 4,376 e 4,846, nos anos de 1952 e 2001, respectivamente, ou seja, um aumento de 0,02%, 0,09% e 0,52%.

Os valores da razão de bifurcação indicam o grau de dissecação da bacia hidrográfica, ou seja, quanto maior for o valor do índice de bifurcação maior será o

grau de dissecação. O valor encontrado para os canais de 1.<sup>a</sup> ordem, de aproximadamente 4,22, indica que as nascentes se encontram em relevo dissecado, com morros e colinas desenvolvidas. No trecho do médio curso, nos canais de 3.<sup>a</sup> e 4.<sup>a</sup> ordem, a bacia hidrográfica apresenta valores ainda maiores, em torno de 4,8 e 6,5, caracterizando relevo bem dissecado. Nos trechos de 6.<sup>a</sup> e 7.<sup>a</sup> ordem, a razão decai para valores iguais a 3,0 e 2,0 indicando um relevo menos dissecado, de região plana ou de relevo suave (CASTRO; CARVALHO, 2009).

Verifica-se, ainda, que o comprimento médio dos canais ( $L_{mi}$ ) manteve-se praticamente o mesmo, no intervalo de tempo avaliado. Constata-se, apenas, um pequeno acréscimo, com variação apenas na terceira casa decimal nos valores obtidos para os canais de 2.<sup>a</sup> e 3.<sup>a</sup> ordem.

A razão do comprimento médio ( $R_{Lm}$ ) apresentou variação nos valores obtidos para os canais de 2.<sup>a</sup> a 4.<sup>a</sup> ordem, de 0,053%, -0,63% e 0,31%, passando de 1,852, 2,230 e 2,885 para 1,853, 2,216 e 2,894 e mantendo-se igual para os canais de 5.<sup>a</sup> a 7.<sup>a</sup> ordem.

Verifica-se que quanto maior o valor do comprimento médio dos canais ( $L_{mi}$ ), menor o seu número. Os maiores valores da razão do comprimento médio ( $R_{Lm}$ ) indicam que o comprimento médio dos canais de determinada ordem é superior ao da ordem inferior, ou seja, é provável que se tenha um número reduzido de canais para uma certa ordem e um grande número de canais para uma ordem inferior, com a bacia tendendo a ser alongada (BORSATO, 2005).

As características gerais da BHAP estão apresentadas na Tabela 27.

TABELA 27 – CARACTERÍSTICAS GERAIS DA BHAP

CARACTERÍSTICAS GEOMÉTRICAS			
VARIÁVEL	VALOR OBTIDO	VARIÁVEL	VALOR OBTIDO
$A_B$ (km <sup>2</sup> )	163,537	$P_B$ (km)	101,408
$R$ (km)	16,140	$A_C$ (km <sup>2</sup> )	818,335
$A_d$ (km <sup>2</sup> )	58,219	$F_A$	35,600
$I_F$	0,194	$F_T$ (Médio)	0,33
$I_C$	0,200		

Continua

Continuação

CARACTERÍSTICAS DO RELEVO			
$H_{\max}$ (m)	1165,500	$H_{\min}$ (m)	923,185
$H_{\text{nasc}}$ (m)	1141,000	$\Delta H_{\text{CP}}$ (m)	217,815
$\Delta H_B$ (m)	242,315	$R_R$ (m.km <sup>-1</sup> )	10,082
CARACTERÍSTICAS DA DRENAGEM			
$L_{\text{CP}}$ (km)	49,009	$L_{\text{PV}}$ (km)	32,185
$G_{\text{CP}}$ (%)	0,444	$L_B$ (km)	24,035
$S_i$	1,523		

NOTA:  $A_B$  = Área da BHAP;  $P_B$  = Perímetro da BHAP;  $R$  = Raio do círculo de perímetro igual ao da BHAP;  $A_C$  = Área do Círculo de perímetro igual ao da BHAP;  $A_d$  = Área da bacia à direita do rio Pitangui;  $I_F$  = Índice de Forma;  $I_C$  = Índice de Circularidade;  $F_A$  = Fator de Assimetria;  $F_T$  = Fator de Simetria Topográfica Transversal;  $H_{\text{nasc}}$  = Altitude da nascente do rio Pitangui;  $H_{\max}$  = Altitude máxima na BHAP;  $H_{\min}$  = Altitude da foz do rio Pitangui;  $\Delta H_{\text{CP}}$  = Desnível entre a nascente e a foz do Canal Principal;  $H_B$  = altura da BHAP;  $R_R$  = Relação de Relevo;  $L_{\text{CP}}$  = Extensão do rio Pitangui;  $L_{\text{PV}}$  = Comprimento Vetorial do rio Pitangui;  $L_B$  = Comprimento da BHAP;  $G_{\text{CP}}$  = Gradiente do Canal Principal;  $S_i$  = Índice de Sinuosidade.

Os índices de forma ( $I_F$ ) e circularidade ( $I_C$ ) obtidos foram 0,194 e 0,2, respectivamente. Esses valores foram menores que 0,51, o que confirma ser uma bacia de forma mais alongada. Bacias hidrográficas com essa forma favorecem o processo de escoamento e, com isso, diminuem a probabilidade de enchentes rápidas (ALVES; CASTRO, 2003).

O índice de sinuosidade ( $S_i$ ) é um fator controlador da velocidade de fluxo, pois quanto maior a sinuosidade, maior é a dificuldade encontrada pelo canal no seu caminho à foz e menor a velocidade do escoamento. Verificou-se que o valor encontrado para esse índice, referente ao canal principal da BHAP, foi de 1,523, sendo que, para  $S_i$  entre 1,0 e 2,0, o padrão do canal é do tipo transicional (ALVES; CASTRO, 2003).

A relação de relevo ( $R_R$ ) mostra a relação da declividade com o comprimento do canal, sendo que, quanto maior for o índice, mais colinoso e dissecado será o relevo e canais mais entalhados. Para a BHAP o valor obtido foi de 10,082 m.km<sup>-1</sup> e pode ser considerada baixa, conforme Collares (2000). Para esse autor, em estudo realizado com os dados de 64 microbacias, que compõem a bacia do rio Capivari, e com o intuito de determinar faixas de distribuição (valores altos, médios e baixos) para as variáveis morfométricas, a  $R_R \leq 13$  m.km<sup>-1</sup> é considerada baixa.



Os valores encontrados para o fator de simetria topográfica transversal ( $F_T$ ) ficaram entre 0,01 a 0,86 (Figura 65) e a média obtida foi de 0,33, verificando-se, portanto, uma distribuição relativamente dispersiva dos valores, devido às reorientações que o rio Pitangui assume em função do controle tectônico a que está submetido. Os maiores valores do  $F_T$  ocorreram na parte superior da BHAP, confirmando alteração do perfil topográfico nessa região. Os valores de 0,86 e 0,64, obtidos nas cabeceiras dos rios Pitangui e São Miguel, ocorreram, provavelmente, pelo estreitamento dos divisores, o que superestima o resultado pela pequena distância relativa entre essas duas medidas (MARQUES NETO, 2009).

O valor do fator de assimetria ( $F_A$ ) igual ou próximo de 50 indica a inexistência de indícios de atividade tectônica. Já valor muito inferior ou muito superior a 50 tem grande probabilidade do local ser tectonicamente controlado. O  $F_A$  encontrado foi de 35,60, ou seja,  $F_A < 50$ , com a maior área à esquerda da BHAP, o que revela uma provável ocorrência de basculamento da margem direita (SALAMUNI *et al.*, 2004).

As variações ocorridas nas características da drenagem, durante o período de 1952 e 2001, estão representadas na Tabela 28.

TABELA 28 – VARIAÇÕES VERIFICADAS NO PERÍODO DE 1952 A 2001 NAS CARACTERÍSTICAS DE DRENAGEM DA BHAP

VARIÁVEIS	1952	2001	VARIAÇÃO (%)
$D_D$ (km.km <sup>-2</sup> )	5,559	5,596	(+) 0,67
$D_H$ (canais.km <sup>-2</sup> )	21,237	21,371	(+) 0,63
$T_T$	11,220	11,324	(+) 0,93
$C_M$ (m <sup>2</sup> .m <sup>-1</sup> )	179,902	178,699	(-) 0,67
$I_R$	6,479	6,522	(+) 0,66
$E_{PS}$ (m)	89,950	89,346	(-) 0,67

NOTA:  $D_D$  = Densidade de Drenagem;  $D_H$  = Densidade Hidrográfica;  $T_T$  = Textura Topográfica;  $C_M$  = Coeficiente de Manutenção;  $I_R$  = Índice de Rugosidade;  $E_{PS}$  = Extensão de Percurso Superficial.

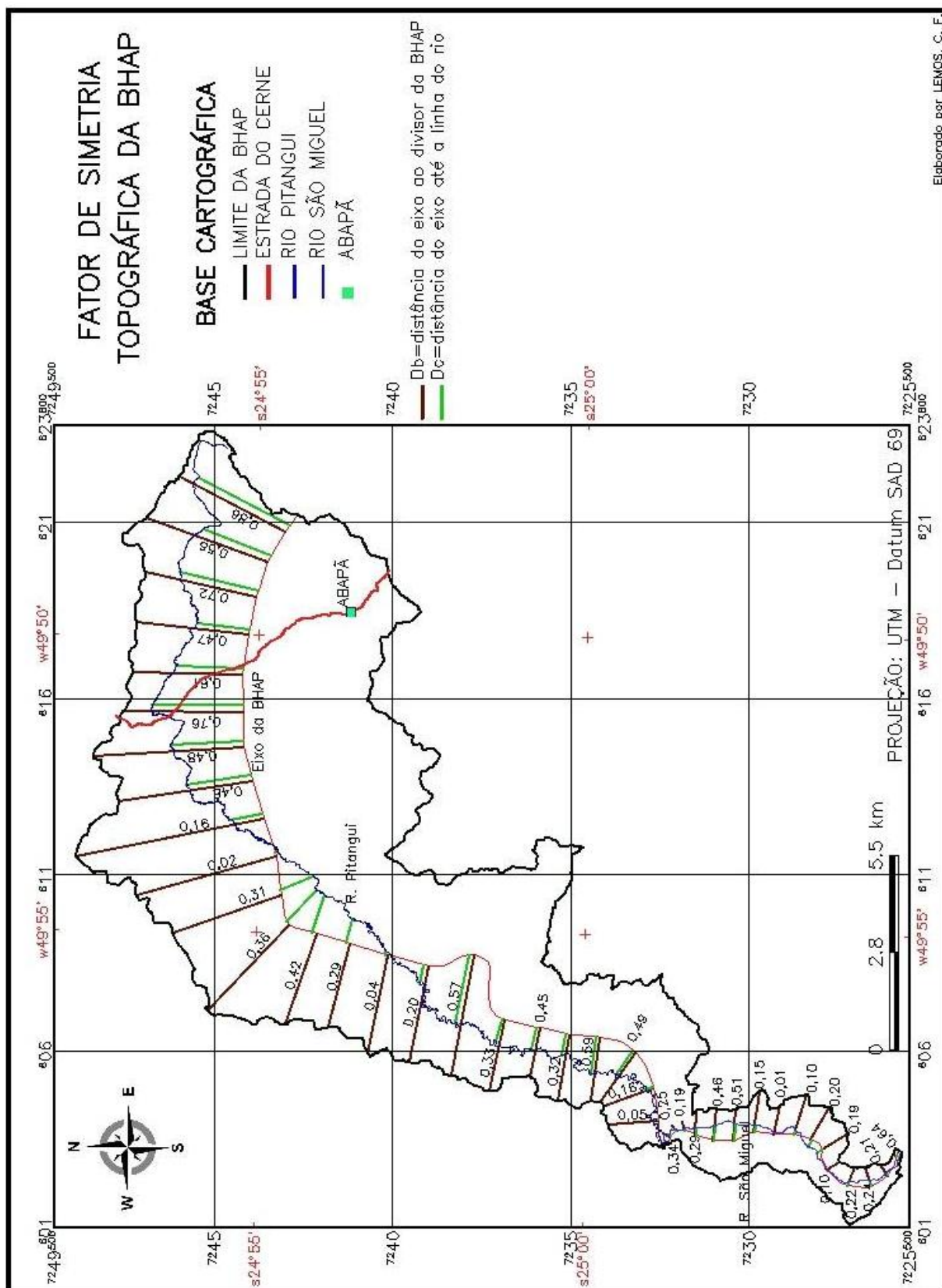


FIGURA 65 – VALORES OBTIDOS PARA O FATOR DE SIMETRIA TOPOGRÁFICA TRANSVERSAL (FT) NA BHAP

Os valores obtidos para a densidade de drenagem ( $D_D$ ), no período entre 1952 e 2001, foram de 5,559 e 5,596  $\text{km.km}^{-2}$  e são considerados muito altos, pois são maiores que 3,5  $\text{km.km}^{-2}$ , o que caracteriza ser uma bacia excepcionalmente bem drenada, ou bem ramificada. O valor alto da densidade de drenagem caracteriza a BHAP como altamente dissecada, que responde de maneira relativamente rápida à pluviometria da região (menor tempo de concentração) e, também, os solos dessa área como facilmente erodíveis e relativamente impermeáveis (BELTRAME, 1994). Esse aumento de 0,67% configura um pequeno ajuste do relevo ao longo do tempo. Verificou-se, ainda, que a densidade de drenagem variou de maneira inversa com a extensão do escoamento superficial ( $E_{PS}$ ), indicando, assim, uma pequena melhora na eficiência da rede de drenagem.

O índice  $E_{PS}$  refere-se à distância média percorrida pelo escoamento até encontrar a rede de drenagem. Logo, quanto menor essa distância, menor a tendência de infiltração, dependendo da declividade e do grau de impermeabilização das vertentes. Para a BHAP, o valor encontrado foi de 89,950 e 89,346 para 1952 e 2001, evidenciando uma diminuição de 0,67% e, conseqüentemente, um decréscimo na capacidade de infiltração.

O coeficiente de manutenção apresentou valores de 179,902 e 178,6991  $\text{m}^2.\text{m}^{-1}$  para o período analisado, ocorrendo uma diminuição de 0,67%. Esse coeficiente tem relação inversa com a densidade de drenagem, significando que uma diminuição no valor desse parâmetro corresponde a um aumento no grau de desenvolvimento da rede de drenagem, resultando no aumento da dissecção do relevo e diminuição da área disponível para o entalhamento de novos canais.

Para o parâmetro textura topográfica ( $T_T$ ), houve um aumento de 0,93%, pois os valores encontrados foram de 11,220 e 11,324 para os anos de 1952 e 2001. A classificação desse parâmetro é de grosseira para  $T_T \leq 4,0$ , média para  $T_T$  entre 4,0 e 10,0 e fina para  $T_T \geq 10,0$ ; portanto, a BHAP enquadra-se na classe de textura topográfica fina, conforme França (1968<sup>2</sup> *apud* Collares, 2000).

Os valores encontrados para índice de rugosidade ( $I_R$ ) foram de 6,479 para 1952 e 6,522 para 2002, ocorrendo um aumento de 0,66%. Valores extremamente

---

<sup>2</sup> FRANÇA, G. V. **Interpretação de fotografias de bacia e de redes de drenagem aplicadas a solos da região de Piracicaba**. 1968. 151f. Tese (Doutorado em Agronomia). Piracicaba, Escola Superior de Agricultura Luiz de Queiroz. Universidade de São Paulo, 1968.

altos desse índice evidenciam que tanto a densidade de drenagem quanto a variação de altitude são altas e, com isso, as vertentes, além de possuírem uma declividade alta, são longas. Diante do exposto, a infiltração será menor e as águas de chuva escoarão com grande velocidade sobre as vertentes (BORSATO, 2005).

## 5.5 DETERMINAÇÃO DO ASSOREAMENTO NA REPRESA DE ALAGADOS

A represa de Alagados (Figura 66) está entre os municípios de Castro, Carambeí e Ponta Grossa e é formada pelo represamento do rio Pitangui, cuja área da bacia é de 163,537 km<sup>2</sup> (16.353,70 ha) e do rio Jotuba, com 133,800 km<sup>2</sup> (13.380,00 ha). A extensão desse reservatório é de 10,7 km no trecho compreendido entre a barragem da Usina de São Jorge e a foz do rio Pitangui, e de 9,0 km da mesma barragem até a foz do rio Jotuba. Na cota de 918,60 m, a profundidade máxima do reservatório fica em torno de 14 m. Sua largura varia de 200 a 800 m, o que resulta numa área da lâmina d'água de aproximadamente 7,315 km<sup>2</sup>. As vazões máxima e mínima são de 13 m<sup>3</sup>.s<sup>-1</sup> e 6 m<sup>3</sup>.s<sup>-1</sup>, respectivamente, e o volume acumulado é cerca de 27,7 milhões de m<sup>3</sup> de água (GOULART, 2001).

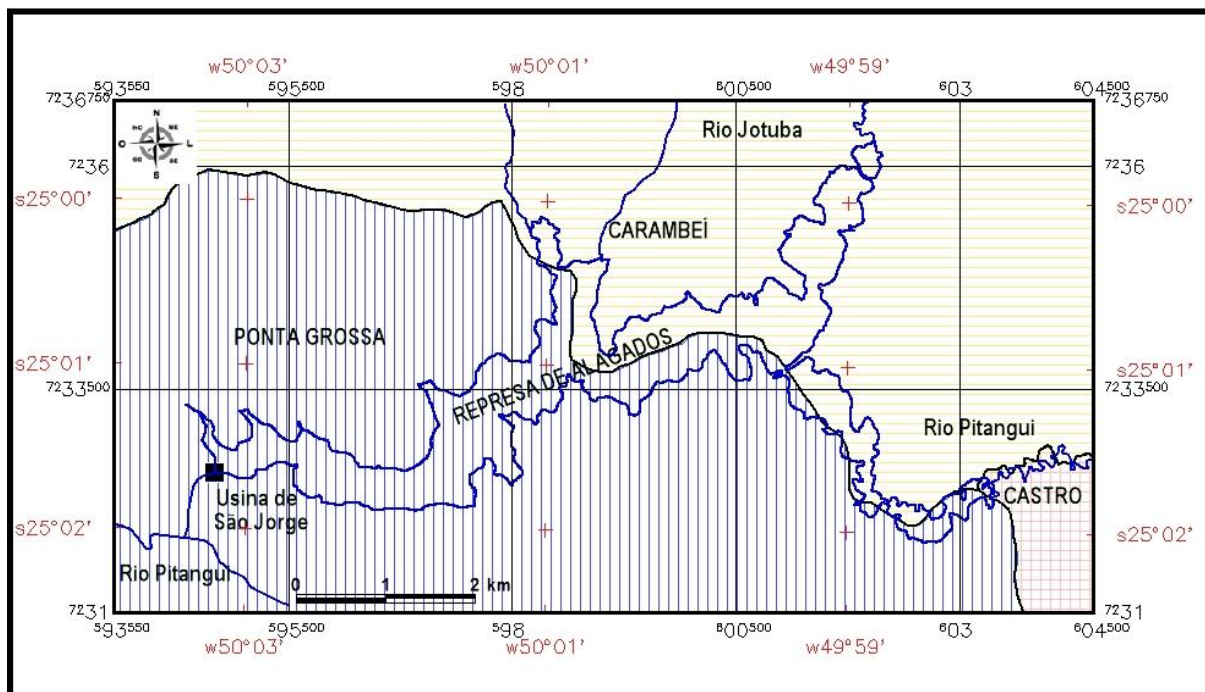


FIGURA 66 – ÁREA DA REPRESA DE ALAGADOS

O problema de assoreamento do reservatório é perceptível ao se visitar o local, principalmente na foz dos rios Jotuba e Pitangui, como mostra as Figura 67 e



Figura 68.

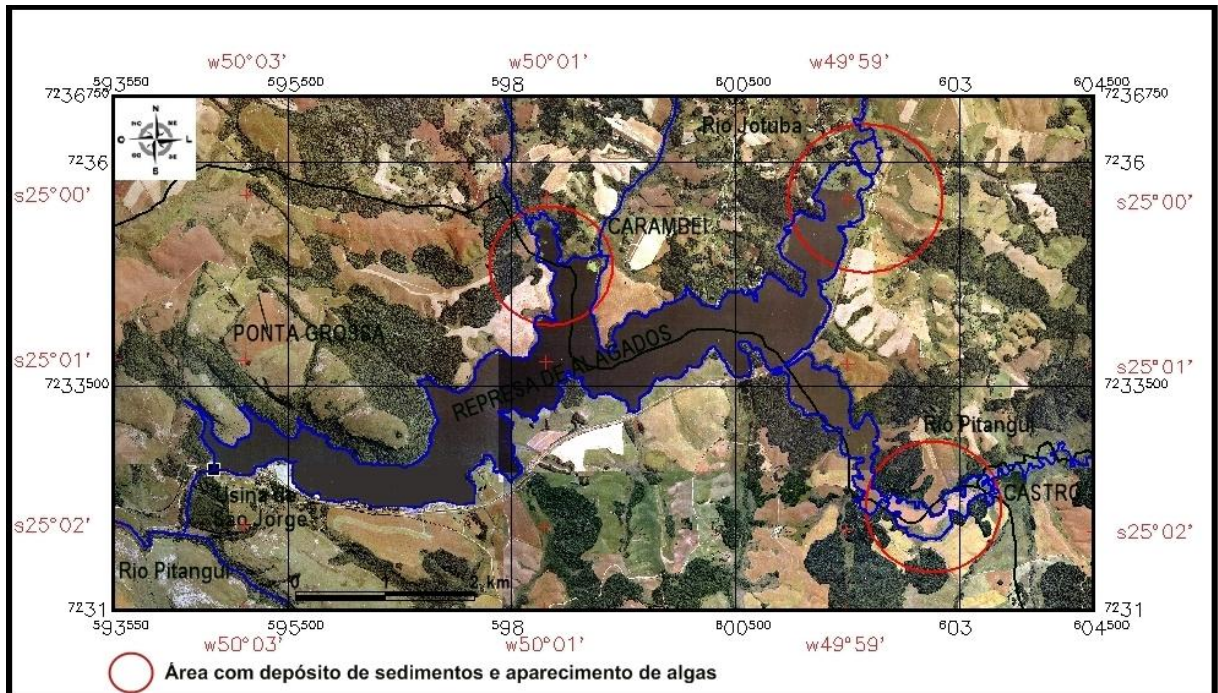


FIGURA 67 – MOSAICO DAS ORTOFOTOS DE 2001 DA REPRESA DE ALAGADOS

FONTE: UEPG (2002)



FIGURA 68 – DETALHE DO ASSOREAMENTO NA FOZ DO RIO PITANGUI

FONTE: UEPG (2002)

Para demonstração do que vem ocorrendo no período de 1984 a 2007, na represa de Alagados, utilizou-se as imagens de satélites de LANDSAT\_5 de 1984 e



1995 (Figura 69 e Figura 70), LANDSAT\_7 de 2002 (Figura 71) e CBERS\_2 de 2007 (Figura 72), em que é possível verificar a evolução do problema de assoreamento e, também, de aparecimento de algas nas desembocaduras dos rios.

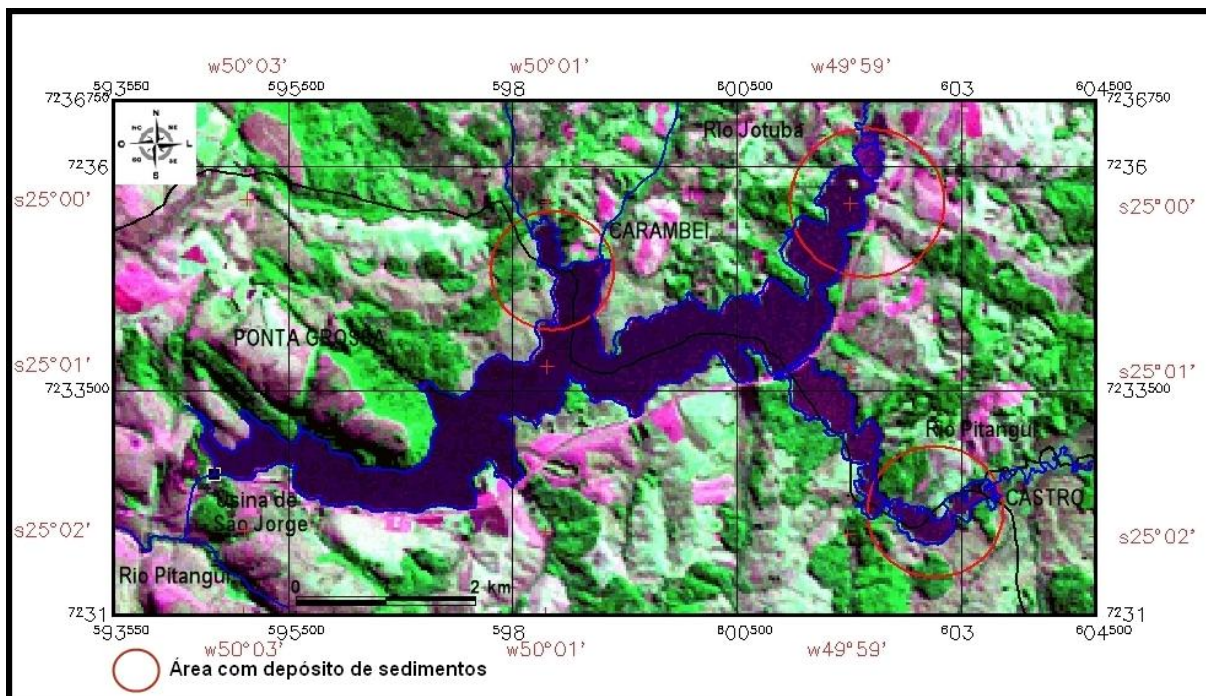


FIGURA 69 – IMAGEM DE SATÉLITE LANDSAT\_5 DE 1984 DA REPRESA DE ALAGADOS  
FONTE: INPE (1984)

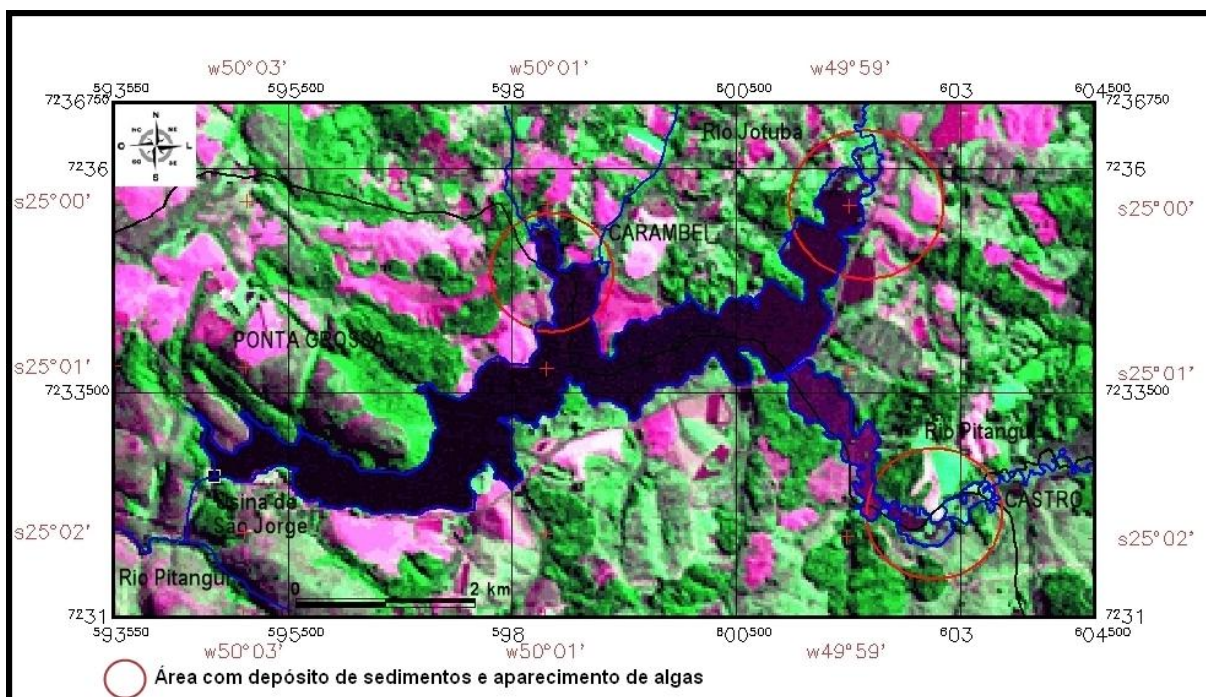


FIGURA 70 – IMAGEM DE SATÉLITE LANDSAT\_5 DE 1995 DA REPRESA DE ALAGADOS  
FONTE: INPE (1995)



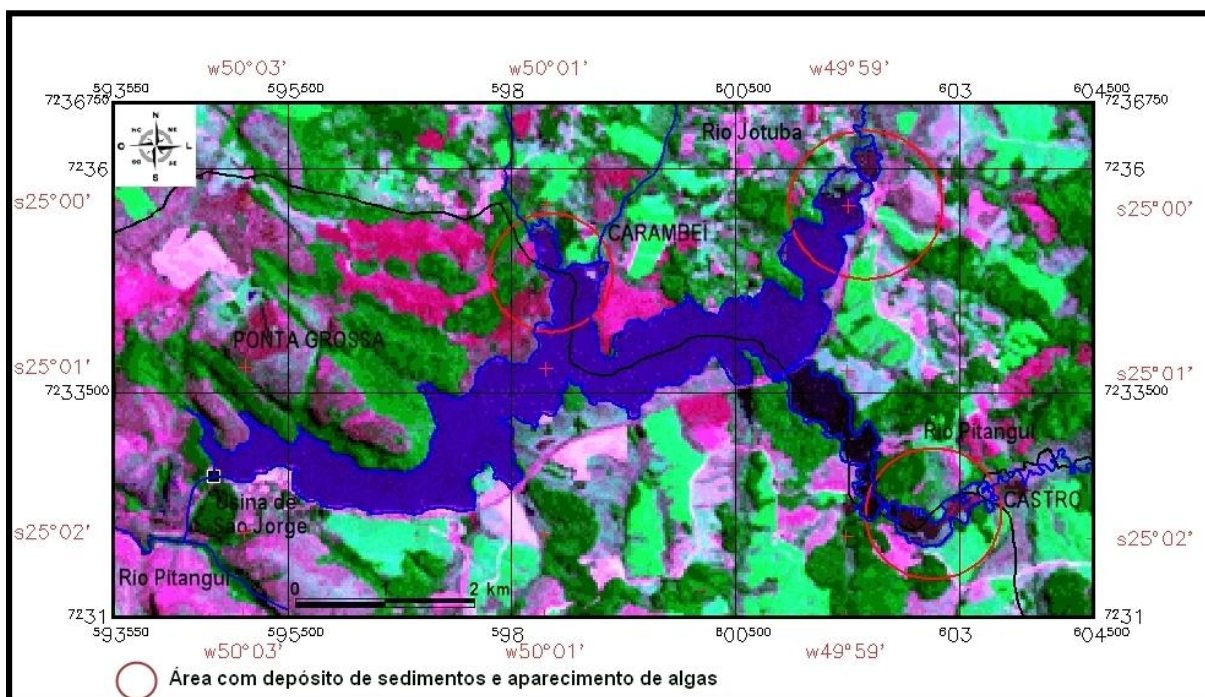


FIGURA 71 – IMAGEM DE SATÉLITE LANDSAT\_7 DE 2002 DA REPRESA DE ALAGADOS  
FONTE: INPE (2002)

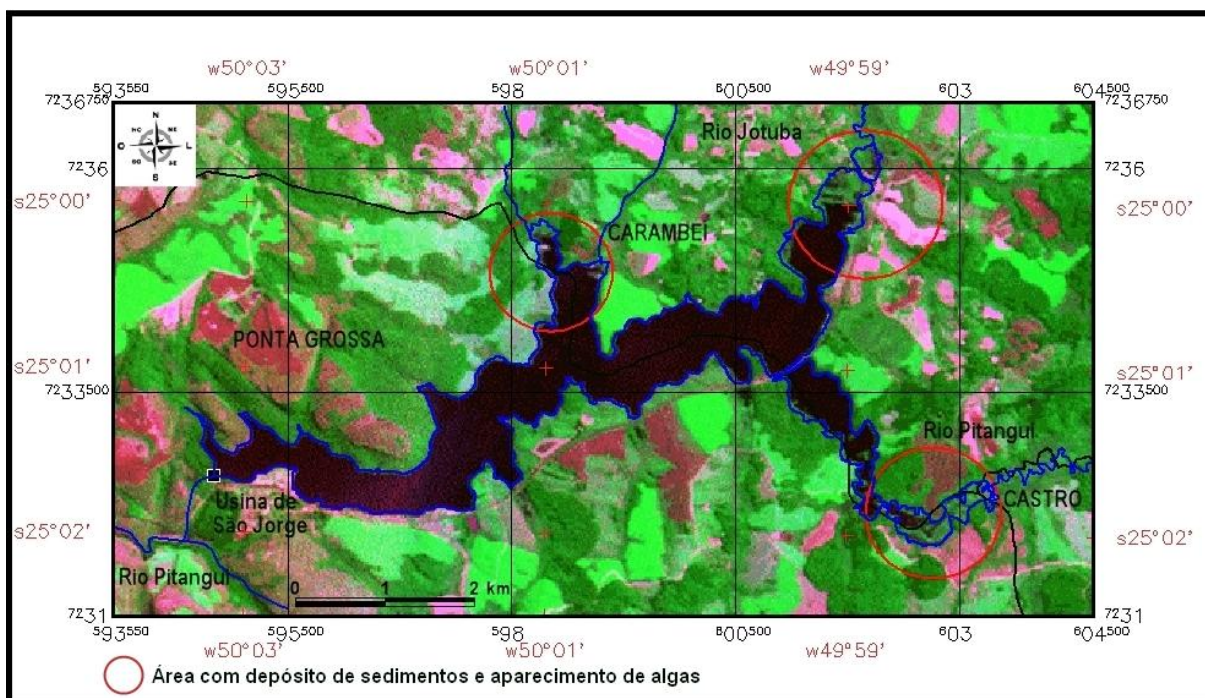


FIGURA 72 – IMAGEM DE SATÉLITE CBERS\_2 DE 2007 DA REPRESA DE ALAGADOS  
FONTE: INPE (2007)

Para o conhecimento da situação em que se encontra o reservatório, utilizou-se imagem do CBERS\_2B de 29.08.2009, cena 157/128, banda 2-B, 3-R e 4-G (Figura 73), como ilustração do que se verificou *in loco*. Na represa de Alagados

constatou-se que o problema de algas está sob controle, porém, o assoreamento da represa continua ocorrendo.

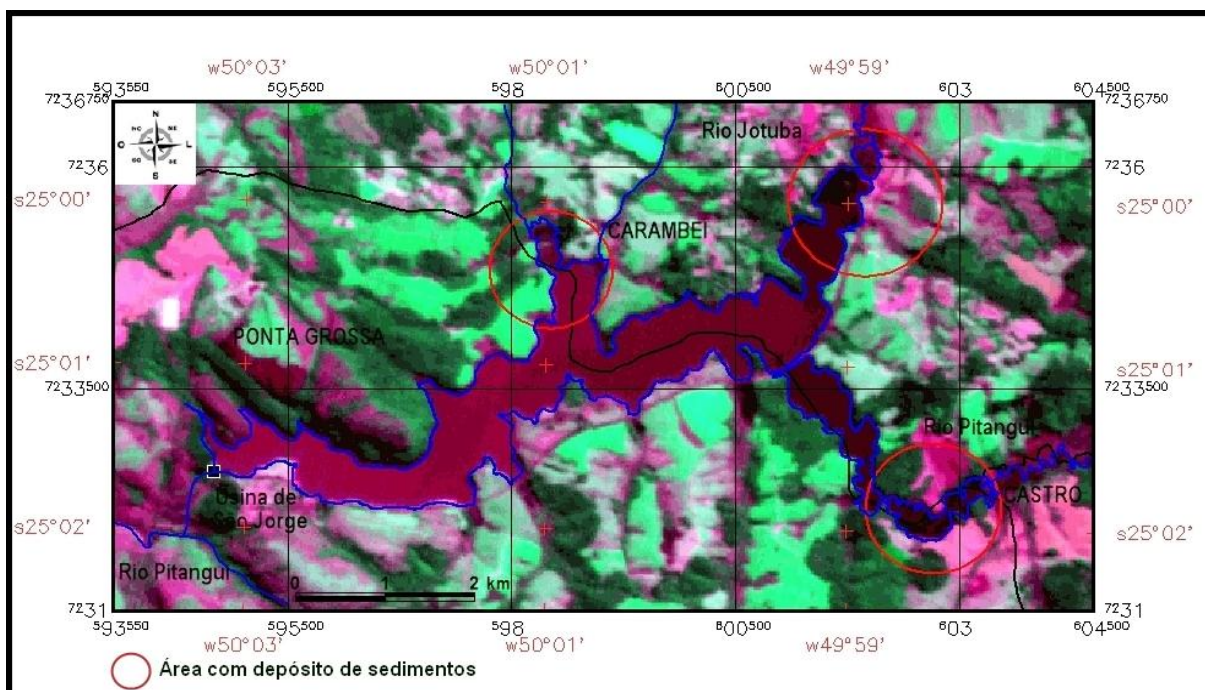


FIGURA 73 – IMAGEM DE SATÉLITE CBERS\_2B DE 2009 DA REPRESA DE ALAGADOS  
FONTE: INPE (2009)

A estimativa do volume de sedimento ( $S_R$ ) retido na represa de Alagados e a taxa de denudação do solo ocorrida na BHAP, no período de 1961 a 2007, foram obtidas conforme descrito no item 4.8 DETERMINAÇÃO DO ASSOREAMENTO DA REPRESA.

Inicialmente, calculou-se o aporte de sedimentos ( $A_S$ ) que chegou ao exutório da bacia. Para isso, foram considerados os valores estimados da média de perda de solos provenientes da erosão laminar ( $46,04 \text{ t.ha}^{-1} \cdot \text{ano}^{-1}$  - Tabela 21, p. 131) e do volume de sedimentos produzidos pelas voçorocas ( $24.730,95 \text{ m}^3$  - Tabela 23, p. 138) e ravinas ( $54.482,37 \text{ m}^3$  - Tabela 24, p. 138).

O coeficiente da relação de aporte de sedimentos (SDR) foi obtido por meio da média dos valores apresentados no Quadro 4.

QUADRO 4 – VALORES OBTIDOS PARA O COEFICIENTE SDR

EQUAÇÕES DE	VALORES DE SDR	
<i>Maner</i>	0,101225	
<i>Roehl</i>	0,08173	
<i>Renfro</i>	0,3011	
<i>Williams; Berndt</i>	0,45220541	
<i>Vanoni</i>	0,250139217	
<i>NRCS</i>	0,32322934	
<i>Lu et al.; Kirpich</i>	tc = 7,402	0,1259725
<i>Lu et al.; Dooger</i>	tc = 10,711	0,0890041
<b>MÉDIA</b>	<b>0,216</b>	

De acordo com a Figura 74, os valores de SDR variaram entre 0,082 e 0,452, com uma média de 0,216, sendo que a equação que mais se aproximou do valor médio foi a equação de *Vanoni*. Esse resultado ficou próximo do valor obtido por Souza *et al.* (2006), que foi de 0,21 para uma pequena bacia do Rio Grande do Sul, por meio da equação de *Vanoni*; e Chaves (2008), que obteve uma variação de 0,12 a 0,52, com a média de 0,24, calculada para a bacia do rio Pípiripau, usando as mesmas equações deste estudo, sendo que a equação de *Vanoni*, também, foi a que mais se aproximou do valor médio.

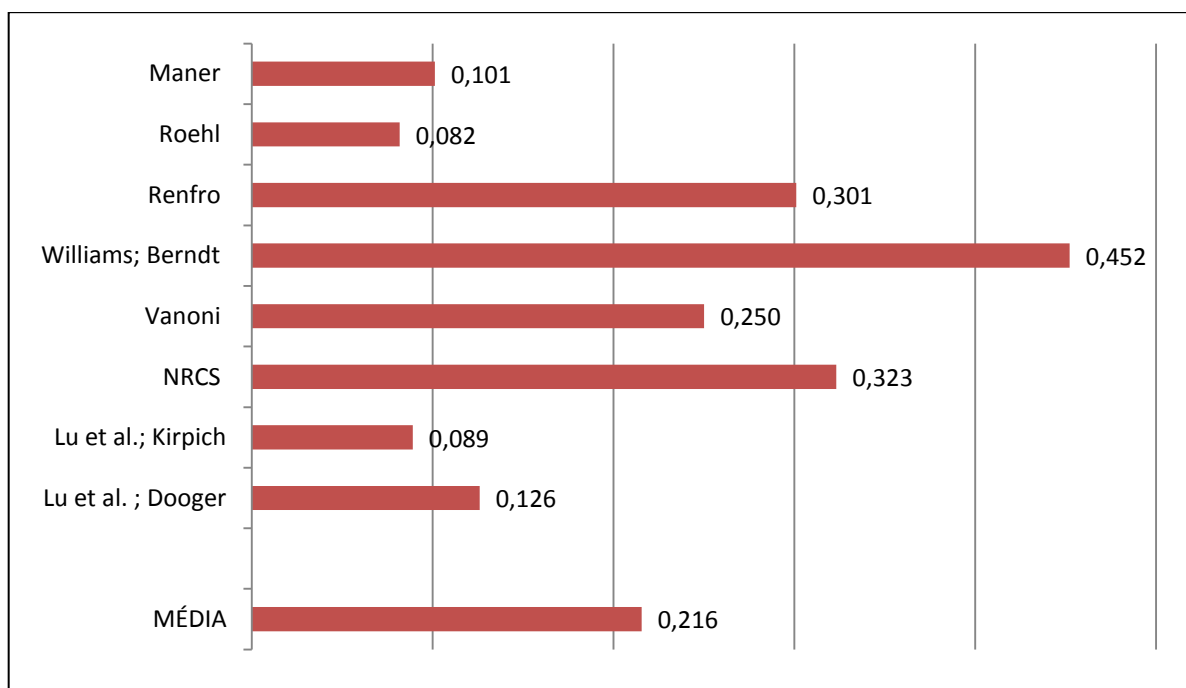


FIGURA 74 – RELAÇÃO DE APOORTE DE SEDIMENTO (SDR) PARA BHAP, USANDO AS SETE EQUAÇÕES

Utilizando-se os valores de 0,216 para SDR, de 16.353,70 ha para área da BHAP, e da perda de solos de  $46,04 \text{ t.ha}^{-1} \cdot \text{ano}^{-1}$  (Tabela 21, p. 131), e aplicando-se a Equação 26, p. 59, têm-se a média do aporte de sedimentos ( $A_{SL}$ ) de  $162.640,49 \text{ t.ano}^{-1}$ , para o período de 1961 a 2007, proveniente da erosão laminar. A média do aporte de sedimentos ( $A_{SC}$ ), oriundos da erosão concentrada, foi determinada, por sua vez, pela média anual da soma dos totais dos volumes de sedimentos produzidos pelas voçorocas ( $24.730,95 \text{ m}^3$  - Tabela 23, p. 138) e ravinas ( $54.482,37 \text{ m}^3$  - Tabela 24, p. 138), multiplicada pelo SDR (0,216) e pelo peso específico aparente dos depósitos ( $\gamma_d = 1,45 \text{ t.m}^{-3}$ ), chegando-se ao valor de  $506,32 \text{ t.ano}^{-1}$  (**Erro! Auto-referência de indicador não válida.**).

TABELA 29 – VALORES DOS APORTES DE SEDIMENTOS NO EXUTÓRIO DA BHAP PROVENIENTES DA EROSÃO LAMINAR E EROSÃO CONCENTRADA

EROSÃO LAMINAR	EROSÃO CONCENTRADA
$PS_{\text{Média}} = 46,04 \text{ t.ha}^{-1} \cdot \text{ano}^{-1}$	$VS_C = 1.616,60 \text{ m}^3 \cdot \text{ano}^{-1}$
$A_{SL} = \text{de } 162.640,49 \text{ t.ano}^{-1}$	$A_{SC} = 506,32 \text{ t.ano}^{-1}$
<b><math>A_{ST} = 163.146,81 \text{ t.ano}^{-1}</math></b>	

NOTA:  $PS_{\text{Média}}$  = Média da Perda de Solos;  $VS_C$  = Total do Volume de Sedimentos da Erosão Concentrada;  $A_{SL}$  = Aporte de Sedimento da Erosão Laminar;  $A_{SC}$  = Aporte de Sedimento da Erosão Concentrada;  $A_{ST}$  = Aporte de Sedimentos Total.

Dividindo-se o aporte de sedimentos total ( $163.146,81 \text{ t.ano}^{-1}$ ) pela área da bacia em  $\text{km}^2$  ( $163,537 \text{ km}^2$ ), é possível estimar a produção de sedimentos. Com o resultado de  $997,61 \text{ t.km}^{-2} \cdot \text{ano}^{-1}$ , a produção de sedimentos produzidos pela BHAP é considerada alta, pois o valor obtido é maior que  $175 \text{ t.km}^{-2} \cdot \text{ano}^{-1}$  (CARVALHO *et al.*, 2000a). O valor estimado ultrapassa em quase 6 vezes o valor de  $175 \text{ t.km}^{-2} \cdot \text{ano}^{-1}$  e isso confirma que a situação do reservatório de Alagados é alarmante, devido a grande quantidade de material erodido e transportado até o exutório desta bacia.

O valor estimado para o volume de sedimento depositado anualmente ( $S_R$ ) na represa foi de  $107.091,82 \text{ m}^3 \cdot \text{ano}^{-1}$ , obtido conforme Equação 25, p. 59, ou seja, com a multiplicação do aporte de sedimentos total ( $A_{ST}$ ) e a eficiência de retenção de sedimentos ( $E_R$ ), divididos pelo peso específico aparente dos depósitos ( $\gamma_d = 1,45 \text{ t.m}^{-3}$ ). Dessa forma, a eficiência de retenção de sedimento ( $E_R$ ) encontrada foi de 95,18%, com base no índice de sedimentação obtido de  $7,95 \times 10^8$ , considerando-se o volume do reservatório de 27,7 milhões de  $\text{m}^3$  de água, vazão média de  $9,5 \text{ m}^3 \cdot \text{s}^{-1}$ , comprimento de 10.700 m e o valor da aceleração da gravidade de  $9,815 \text{ m.s}^{-2}$ ,



conforme método descrito no item 4.8 DETERMINAÇÃO DO ASSOREAMENTO DA REPRESA.

Portanto, no período avaliado, entre 1961 a 2007, o volume total da represa de Alagados ( $27,7 \times 10^6 \text{ m}^3$ ) diminuiu em 17,78%, devido à deposição de sedimentos produzidos apenas pela BHAP. Considerando-se que a bacia estudada contribui, anualmente, com o assoreamento de 0,39% do volume da represa, restariam aproximadamente 212 anos para que a mesma esteja completamente assoreada, se não houver nenhuma ação preventiva de controle da sedimentação.

Na sequência, calculou-se a taxa de denudação do solo, conforme Equação 32, p.65, utilizando-se o aporte de sedimentos total ( $163.146,81 \text{ t.ano}^{-1}$ ), a área da bacia ( $163,537 \times 10^6 \text{ m}^2$ ) e o peso específico aparente dos solos ( $1,66 \text{ t.m}^{-3}$ ), cujo valor encontrado foi de  $0,6 \text{ mm.ano}^{-1}$ .

Considerando-se que a taxa média de renovação do solo é de  $0,2 \text{ mm.ano}^{-1}$  (SKIDMORE, 1982) e que o período avaliado é de 1961 a 2007, o desgaste de solo foi de, aproximadamente, 1,84 cm, estimando-se, assim, que levaria em torno de 2.500 anos para se perder 1 m de espessura de solo, em toda a BHAP, caso não se realizem medidas eficazes de controle da erosão.

### CONCLUSÕES

Os estudos realizados sobre a Bacia Hidrográfica do Alto Curso do rio Pitangui – BHAP conduziram às seguintes conclusões:

- A erosividade da chuva –  $R$  ( $\text{MJ.ha}^{-1}.\text{mm.h}^{-1}.\text{ano}^{-1}$ ), fator que indica a contribuição da chuva inerente da região no processo erosivo, foi considerada alta para o período de 1996 a 2002, com valor médio de 7.759,82 e nos demais períodos foi classificada como média, com 7.157,81 em 1961 a 1984; seguida por 6.874,01 em 2003 a 2007 e 6.569,93 em 1985 a 1995. Verificou-se que nos períodos de 1961 a 1984 e 1985 a 1995 as menores erosividades ocorreram próximo ao distrito de Abapã, sendo que o predomínio da variação crescente ocorreu nas direções NE e SW. Para 1996 a 2002 e 2003 a 2007, as menores erosividades apresentadas foram ao Norte da BHAP, aumentando também na direção NE e SW. Este fato, provavelmente, está ligado ao relevo e à altitude da região (cotas acima de 1.000 m) e o sentido das entradas de massa de ar.
- A erodibilidade dos solos –  $K$  ( $\text{t.ha}^{-1}.\text{h.mm}^{-1}.\text{ha.MJ}^{-1}$ ), propriedade que representa a resistência intrínseca do solo ao destacamento de suas partículas, apresentou valor mínimo de 0,0178 para a Associação dos Neossolos com Afloramentos Rochosos, justificado por apresentar horizonte "A Húmico", com quantidade de matéria orgânica suficiente para minimizar a característica de solos erodíveis; e máximo de 0,0363 para os Cambissolos. O valor médio encontrado da erodibilidade foi de 0,027358, sendo que 37,46% da área de estudo apresentou erodibilidade alta, 62,54% erodibilidade média e em nenhuma área ocorreu solos com erodibilidade baixa.
- O parâmetro topográfico –  $LS$  (adimensional), fator que correlaciona o comprimento e a inclinação da rampa e, portanto, representa a participação do relevo no processo erosivo, apresentou 39,767% da área total da bacia com  $LS$  muito baixo; 23,612% baixo; 29,941% moderado; 6,248% de moderadamente forte; 0,420% forte; e, apenas 0,001% da área apresentou



LS muito forte, sendo que o valor máximo obtido foi de 79,538 e a média foi de 1,895. Quanto maior for esse fator, maior é a velocidade de escoamento e, com isso, maior é o desprendimento de partículas e o carreamento de sedimentos.

- Para os parâmetros de uso e manejo do solo – C e práticas conservacionistas – P (adimensionais), fatores de redução da erosão, cujos valores máximo é igual a 1, atribuído para solos expostos, sendo que valores inferiores a este estão relacionados ao tipo de cobertura e às práticas de cultivo, observou-se que o fator C, entre 0,005 e 0,025, detém a maior área em todo o período analisado (57,28%; 48,34%; 48,37% e 55,42%) e valores de C maior que 0,5 ocorrem em 20,70% da área em 1995, seguido por 14,06% em 2007, 11,11% em 1984 e 8,29% para 2002. Por sua vez, a maior porcentagem de área com práticas conservacionistas ocorreu em 2002, com 45,67%, seguido por 1984, com 37,21%, 2007 com 36,16% e, por último, 1995 com 30,21%. Desse modo, verifica-se que esses parâmetros se apresentam em forma de ciclo, em que o período com a maior proporção de área superficial, com algum tipo de cobertura vegetal, ocorreu em 2002 e a menor em 1995.
- As perdas de solos ( $t \cdot ha^{-1} \cdot ano^{-1}$ ) mostram valores médios de 40,036 no período de 1961 a 1984; 62,614 em 1985 a 1995; 35,409 para 1996 a 2002 e 46,112 em 2003 a 2007. As perdas obtidas estão classificadas como alta para 1985 a 1995 e, para os demais períodos, moderada. Os aspectos das curvas, com os valores médios de perdas de solos na BHAP, coincidem com as de produções agropecuárias e extrativas, ocorridas na região pertencente aos municípios de Castro, Carambeí e Ponta Grossa, até o período de 1996 a 2002. No período seguinte, em 2003 a 2007, essas curvas se apresentam de maneira inversa. Provavelmente, além dos fatores naturais, a perda de solos pode ter sofrido influência dos incentivos governamentais para a expansão agrícola da região, até 2002. A partir desse período, outros fatores devem ter preponderado na diminuição das áreas de reflorestamento, vegetação primária e secundária, como o aumento do número de moradias rurais, abertura de novos acessos viários, extração de minerais, expansão do distrito de Abapã e outros, contribuindo, assim, para a retomada do crescimento da perda de solos.

- Nas fotos aéreas de 1952, 1980 e 2001 foram identificadas 12, 18 e 29 voçorocas e 76, 92 e 428 ravinas. Para o período entre 1952 a 1980, o volume total de sedimentos produzidos pelas voçorocas e ravinas foi estimado em  $1.865,31 \text{ m}^3$  e  $24.918,15 \text{ m}^3$  e, entre 1981 a 2001, esse volume passou para  $22.865,64 \text{ m}^3$  e  $29.564,22 \text{ m}^3$ , respectivamente. O aumento desses volumes, de um período para outro, demonstra que os processos erosivos vêm crescendo com o passar dos anos e, com isso, há o agravamento dos problemas ambientais.
- No período de 1952 a 2001, verificou-se o aumento dos seguintes parâmetros, para os canais de 1.<sup>a</sup>, 2.<sup>a</sup> e 3.<sup>a</sup> ordens, respectivamente: 0,63%, 0,61% e 0,53% no número de canais; de 0,02%, 0,09% e 0,52% na razão de bifurcação; de 0,87%, 0,91% e 0,21% nos comprimentos dos canais; e variação de 0,053%, - 0,63% e 0,31%, na razão do comprimento médio. Para as demais ordens, os valores mantiveram-se os mesmos, constatando-se, então, que não há interferência dos novos canais a partir da 3.<sup>a</sup> ordem e que a influência das atividades antrópicas sobre a composição da rede de drenagem foi muito pequena.
- O fator de assimetria de 35,60 e os valores dos fatores de simetria topográfica transversal entre 0,01 a 0,86, com média de 0,33, indicam um provável basculamento da margem direita (levantamento) e alteração do perfil topográfico em alguns trechos do rio Pitangui. O índice de forma de 0,194 e o índice circularidade de 0,2, confirmam que a bacia é do tipo alongada, com o favorecimento do processo de escoamento e, conseqüentemente, menor possibilidade de enchentes rápidas.
- O índice de sinuosidade obtido foi de 1,523, o que confirma o predomínio do canal principal como do tipo transicional. Verifica-se que o trecho inicial do rio Pitangui é do tipo retilíneo e o trecho final é do tipo meândrico, podendo-se, assim, afirmar que a carga de sedimentos está influenciando a sinuosidade do canal principal.
- A relação de relevo obtido foi de  $10,082 \text{ m.km}^{-1}$  e refere-se à característica geral da bacia, sendo que, para se ter uma avaliação mais precisa, seria necessário dividir a BHAP em bacias menores, pois o que se observa, principalmente na parte leste, é a existência de áreas colinosas e

dissecadas, com o canal do rio Pitangui entalhado e encaixado em lineamentos estruturais, e, no centro e final da bacia, extensas planícies de inundação, com o canal principal do tipo meândrico.

- Verificou-se um aumento de 0,67% na densidade de drenagem no período entre 1952 e 2001, cujos valores foram de 5,559 e 5,596 km.km<sup>-2</sup>. Os valores obtidos são considerados muito altos, o que caracteriza a BHAP como, de forma geral, muito bem drenada, muito ramificada, altamente dissecada, com menor tempo de concentração e com solos facilmente erodíveis e impermeáveis.
- O índice de extensão de percurso superficial e o coeficiente de manutenção, ambos função inversa da densidade de drenagem, apresentaram um decréscimo de 0,67%, para o período avaliado. Esse decréscimo indica que o relevo tornou-se mais movimentado, ou seja, houve aumento da escavação vertical, resultando, consequentemente, em superfícies mais inclinadas, o que sugere a interferência das atividades antrópicas na BHAP como causa.
- A textura topográfica apresentou valores de 11,220 e 11,324 e o índice de rugosidade de 6,479 e 6,522, para os anos de 1952 e 2001, o que mostra um aumento de 0,93% e 0,66%. Com esses valores, pode-se classificar a textura topográfica como fina e confirmar que tanto a densidade de drenagem quanto a variação de altitude são altas na BHAP.
- O valor encontrado de 997,61 t.km<sup>-2</sup>.ano<sup>-1</sup> foi considerado alto para produção anual de sedimentos, provenientes das erosões laminar e concentrada. A média anual do aporte de sedimentos ( $A_{ST}$ ) que chegam ao exutório da BHAP foi de 163.146,81 t.ano<sup>-1</sup> e o volume de sedimentos depositados ( $S_R$ ), anualmente, na represa de Alagados foi estimado em 107.091,82 m<sup>3</sup>.ano<sup>-1</sup>, ou seja, a bacia estudada contribui com o assoreamento de 0,39% por ano do volume total da represa ( $27,7 \times 10^6$  m<sup>3</sup>). Com esse dado e considerando-se o período avaliado de 1961 a 2007, a represa já diminuiu, no mínimo, em 17,78%, restando, aproximadamente, 212 anos para que a mesma seja completamente assoreada, caso não haja nenhuma ação preventiva de controle da sedimentação.
- Considerando que a taxa média de renovação do solo é de 0,2 mm.ano<sup>-1</sup>, a

taxa anual de denudação do solo estimada para a área de estudo foi 3 vezes maior, ou seja,  $0,6 \text{ mm.ano}^{-1}$ . Para o período de 1961 a 2007, o desgaste do solo foi de, aproximadamente, 1,84 cm e estimando-se, assim, que levaria em torno de 2.500 anos para se perder 1 m de espessura de solo, em toda a BHAP, caso não se realize medidas eficazes de controle da erosão.

Portanto, por meio do exposto acima, fica evidente que a variação da perda de solo por erosão entre-sulcos (laminar), a evolução da erosão concentrada, o volume de sedimentos depositados na represa de Alagados e as alterações na composição da rede de drenagem sofreram interferência, principalmente, da forma de uso e ocupação dos ambientes naturais existentes na BHAP.

Cabe lembrar que, para ocorrer a sustentabilidade do solo, é necessário existir um equilíbrio entre a sua formação e denudação. O solo é um dos mais importantes capitais da humanidade e está sofrendo uma destruição visível, pela rapidez com que a erosão cresce; por isso, a importância de se alertar sobre os danos ambientais que ocorrem devido ao seu uso inadequado. Espera-se, por fim, que esta pesquisa contribua e some-se aos projetos e estudos de recuperação do solo, que serão realizados na região da BHAP.

## REFERÊNCIAS

ALVES, J. M. P.; CASTRO, P. T. A. Influência de feições geológicas na morfologia da bacia do rio do Tanque (MG) baseada no estudo de parâmetros morfométricos e análise de padrões de lineamentos. **Revista Brasileira de Geociências**. São Paulo, v.33, n.2, p.117-124, jun. 2003.

ALVES, M. **Estimativa da perda de solo por erosão laminar na bacia do rio São Bartolomeu – DF usando técnicas de geoprocessamento**. 2000. 32f. Trabalho de Introdução ao Geoprocessamento – INPE – ESR 300. Disponível em: <<http://www.dpi.inpe.br/cursos/ser300/trabalhos.html>> Acesso em: 15.05.2008.

ANA – Agência Nacional de Águas. **HidroWeb – sistema de informações hidrológicas**: Dados Hidrológicos – Séries Históricas. Brasília: ANA. Disponível em: <<http://hidroweb.ana.gov.br>> Acesso em: 27/02/2009.

BAHIA, V. G.; CURI, N.; CARMO, D.; MARQUES, J. J. G. M. M. Fundamentos de erosão do solo. **Informe Agropecuário**. Belo Horizonte, v.16, n.176, p.25-31, 1992.

BELTRAME, A. V. **Diagnóstico do meio físico de bacias hidrográficas**: modelo e aplicação. Florianópolis: UFSC, 1994.

BERTOL, J.; BEUTLER, J. F.; LEITE, D.; BATISTA, O. Propriedades físicas de um cambissolo húmico afetadas pelo tipo de manejo do solo. **Scientia Agrícola**. São Paulo, v.58, n.3, p.555-560, 2001.

BERTONI, J. O. O espaçamento de terraços em culturas anuais, determinado em função das perdas por erosão. **Bragantia**, Campinas, v.18, n.10, p.113–140, 1959.

BERTONI, J.; LOMBARDI NETO, F. **Conservação do solo**. 6. ed. São Paulo: Ícone, 2008. 355p.

BOGNOLA, I. A.; FASOLO, P. J.; CARVALHO, A. P.; POTTER, R. O.; BHERING, S. B.; Levantamento de reconhecimento dos solos da região centro-leste do estado do Paraná (área 10). **Boletim de Pesquisa e Desenvolvimento**. Rio de Janeiro: Embrapa Solos, n.11, 2002a. 110p.

BOGNOLA, I. A.; POTTER, R. O.; CARVALHO, A. P.; FASOLO, P. J.; BHERING, S. B.; MARTORANO, L. G. Caracterização dos solos do município de Carambeí, PR. **Boletim de Pesquisa e Desenvolvimento**. Rio de Janeiro: Embrapa Solos, n.8, 2002b. 75p.

BORSATO, F. H. **Caracterização física das bacias de drenagem do município de Maringá e os postos de combustíveis como potenciais poluidores**. 2005. 257f. Dissertação (Mestrado em Geografia) – Universidade Estadual de Maringá – UEM. Maringá, 2005.

BRANCO, N. **Avaliação da produção de sedimentos de eventos chuvosos em uma pequena bacia hidrográfica rural de encosta**. 1998. 135f. Dissertação

(Mestrado em Engenharia Agrícola) – Universidade Federal de Santa Maria. Santa Maria, 1998.

CANALI, N. E.; OKA-FIORI, C. Análise morfométrica de bacias hidrográficas. In: LIMA, R. E.; NEGRELLE, R. R. B. (org.). **Meio ambiente e desenvolvimento no litoral do Paraná: diagnóstico**. Curitiba: UFPR, 1998. 258p.

CARVALHO, A. P.; FASOLO, P. J.; BOGNOLA, I. A.; POTTER, R. O.; BHERING, S. B.; MARTORANO, L. G. Caracterização dos solos do município de Tibagi – PR **Boletim de Pesquisa e Desenvolvimento**. Rio de Janeiro: Embrapa Solos, n.14, 2002. 78p.

CARVALHO, N. O. **Hidrossedimentologia prática**. Rio de Janeiro: CPRM, 2008. 600p.

CARVALHO, N. O.; FILIZOLA JÚNIOR, N. P.; SANTOS, P. M. C.; LIMA, J. E. F. W. **Guia de avaliação de assoreamento de reservatórios**. Brasília: ANEEL, 2000a. 140p.

CARVALHO, N. O.; FILIZOLA JÚNIOR, N. P.; SANTOS, P. M. C.; LIMA, J. E. F. W. **Guia de práticas sedimentométricas**. Brasília: ANEEL, 2000b. 154p.

CARVALHO, N. O.; GUILHON, L. G.; TRINDADE, P. A. O assoreamento de um pequeno reservatório – Itiquira, um estudo de caso. **RBRH – Revista Brasileira de Recursos Hídricos**, v.5, n.1, p.69-79, jan/mar. 2000.

CASTRO, S. B.; CARVALHO, T. M. Análise morfométrica e geomorfologia da bacia hidrográfica do rio Turvo – GO, através de técnicas de sensoriamento remoto e geoprocessamento. **Scientia Plena**, v.5, n.2, 2009. Disponível em: <[www.scientiaplenu.org.br](http://www.scientiaplenu.org.br)> Acesso em: 10.10.2009.

CERDA, A. Soil aggregate stability in three Mediterranean environments. **Soil Technol**, v.9, p.133–140, 1996.

CEREDA JUNIOR, A. **Mapeamento da fragilidade ambiental na Bacia do Ribeirão do Monjolinho – São Carlos – SP – utilizando ferramentas de geoprocessamento**. 2006. 111f. Dissertação (Mestrado em Engenharia Urbana). Universidade Federal de São Carlos – UFSCar. São Carlos, 2006.

CERRI, L. E. S.; SILVA, J. A. F.; SANTOS, P. H. P. Erosão do solo: aspectos conceituais. **Revista Brasileira em Geociências**, v.2, n.6, p.92-98, 1997.

CHAVES, H. M. L. **Relações de aporte de sedimento e implicações de sua aplicação em programas de controle de erosão em pequenas bacias hidrográficas**. 2008. Disponível em: <[http://sbcs.solos.ufv.br/solos/artigos/28939026187\\_rbc\\_sdr.doc](http://sbcs.solos.ufv.br/solos/artigos/28939026187_rbc_sdr.doc)> Acesso em: 26.09.09.

CHAVES, H. M. L.; SILVA, P. A.; CARLOS, R. J. Aplicação da USLE e SGI na predição da erosão atual e potencial a nível regional: o caso do Vale do São Francisco. In: CONGRESSO BRASILEIRO DE CIÊNCIA DO SOLO, 1995. Viçosa. **Anais...** Viçosa, p.1961-1963, 1995.



CHUEH, A. M. **Análise do uso do solo e degradação ambiental na bacia hidrográfica do rio Pequeno – São José dos Pinhais/PR, por meio do Diagnóstico Físico-Conservacionista – DFC**. 2004. 102f. Dissertação (Mestrado em Geografia) – Ciências da Terra, Universidade Federal do Paraná – UFPR. Curitiba, 2004.

COLLARES, E. G. **Avaliação de alterações em redes de drenagem de microbacias como subsídio ao zoneamento geoambiental de bacias hidrográficas**: aplicação na bacia hidrográfica do Rio Capivari. – SP. 2000. 211f. 2v. Tese (Doutorado em Geotecnia) – Escola de Engenharia de São Carlos, Universidade de São Paulo – USP. São Carlos, 2000.

COPEL – Companhia Paranaense de Energia. **Geração**. Publicado em: 08.03.2006. Disponível em: <<http://www.copel.com/pagcopel.nsf>> Acesso em: 28.05.2008.

COSTA, T. C. C.; LUMBRERAS, J. F.; ZARONI, M. J.; NAIME, U. J.; GUIMARÃES, S. P.; UZEDA, M. C. Estimativas de perda de solo para microbacias hidrográficas no Estado do Rio de Janeiro. **Boletim de Pesquisa e Desenvolvimento**. Rio de Janeiro: Embrapa Solos, n.78, 2005. 48p.

CRUZ, G. C. F. Alguns aspectos do clima dos Campos Gerais. In: M. S. Mello; R. S. Moro e G. B. Guimarães (eds.). **Patrimônio natural dos Campos Gerais**. Ponta Grossa: Editora UEPG, p.59-72, 2007.

CUNHA, S. B. Geomorfologia Fluvial. In: GUERRA, A. J. T.; CUNHA, S. B. (orgs.). **Geomorfologia**: uma atualização de bases e conceitos. 4.ed. Rio de Janeiro: Bertrand Brasil, p.211-252. 2001.

DENARDIN, J. E. **Erodibilidade do solo estimada por meio de parâmetros físicos e químicos**. 1990. 113f. Tese (Doutorado em Solos e Nutrição de Plantas) – Escola Superior de Agricultura "Luiz de Queiroz", Universidade de São Paulo – USP. Piracicaba, 1990.

DERPSCH, C. H.; ROTH, C. H.; SIDIRAS, N.; KÖPKE, U. **Controle da erosão no Paraná, Brasil**: sistemas de cobertura do solo, plantio direto e preparo conservacionista do solo. Eschborn: Gesellschaft für Technische Zusammenarbeit (GTZ) – IAPAR, p.47-51, 1991.

DIAZ, J. S. **Control de erosion en zonas tropicales**. Bucaramanga, Colombia: Universidad Industrial Santander, 2001. 555p.

EMBRAPA – Empresa Brasileira de Pesquisa Agropecuária. **Carta de solos do estado do Paraná**: SG 22 X-A – MIR 506 e SG 22 X-C – Mir 513. (escala 1: 250.000) In: BHERING, S. B.; SANTOS, H. G (ed.). 2008. 74 p.

EMBRAPA – Empresa Brasileira de Pesquisa Agropecuária. Levantamento de reconhecimento de solos do Estado do Paraná. 2 tomos. **Boletim Técnico, 57**. Curitiba: EMBRAPA-SNLCS/ SUCEsul/ IAPAR, 1984. 785p.

EMBRAPA – Empresa Brasileira de Pesquisa Agropecuária. **Manual de métodos de análise de solo**. 2. ed. ver. atual. Rio de Janeiro: Serviço Nacional de Levantamento e Conservação de Solos, 1997.

EMBRAPA – Empresa Brasileira de Pesquisa Agropecuária. **Projetos para conservação de solo dependem de conscientização para serem valorizados**. 2007. Disponível em: <<http://www.cnpma.embrapa.br/nova/mostra2.php3?id=275>> Acesso em: 31.05.2008.

EMBRAPA – Empresa Brasileira de Pesquisa Agropecuária. **Sistema Brasileiro de Classificação de Solos – SBCS**. 2. ed. Brasília: Embrapa Produção de Informação; Rio de Janeiro: Centro Nacional de Pesquisa de Solos – Embrapa Solos, 2006. 412p.

ESRI – Environmental Systems Research Institute. **ArcView GIS 3.2**. Software. 1999.

FALKER – Automação Agrícola. **Aplicações do HidroFarm**. Nota de Aplicação – HFM 2010 – n.1, dez. 2008. 5p. Disponível em: <<http://www.falker.com.br/>> Acesso em: 21.04.2009.

FAO – Food and Agriculture Organization. La erosion del suelo por el agua. Algunas medidas para combatirla em las tierras de cultivo. **Cuadernos Agropecuario**. Roma: Org. de Las Naciones Unidas – FAO, n.81, 1967. 207p. Disponível em: <<http://www.fao.org>> Acesso em: 21.11.2009.

FARINASSO, M.; CARVALHO JÚNIOR, O. A.; GUIMARÃES, R. F.; GOMES, R. A. T.; RAMOS, V. M. Avaliação qualitativa do potencial de erosão laminar em grandes áreas por meio da EUPS – Equação Universal de Perdas de Solos utilizando novas metodologias em SIG para os cálculos dos seus fatores na região do alto Parnaíba – PI-MA. **Revista Brasileira de Geomorfologia**. Ano 7, n.2, p.73-85, 2006.

FASOLO, P. J.; BOGNOLA, I. A.; CARVALHO, A. P.; POTTER, R. O.; BHERING, S. B. Levantamento de reconhecimento dos solos da região Sudeste do estado do Paraná (áreas 4, 5 e 6). **Boletim de Pesquisa e Desenvolvimento**. Rio de Janeiro: Embrapa Solos, n.13, 2002a. 143p.

FASOLO, P. J.; CARVALHO, A. P.; POTTER, R. O.; BOGNOLA, I. A.; BHERING, S. B.; MARTORANO, L. G. Caracterização dos solos do município de Castro, PR. **Boletim de Pesquisa e Desenvolvimento**. Rio de Janeiro: Embrapa Solos, n.9, 2002b. 88p.

FIORI, A. P. Fatores que influenciam na análise de vertentes e no movimento de massa em encostas. **Boletim Paranaense de Geociências**. Curitiba: UFPR, n.43, p.7-24. 1995.

FIORI, A. P.; CARMIGNANI, L. **Fundamentos de mecânica dos solos e das rochas**: aplicações na estabilidade de taludes. Curitiba: UFPR, 2001. 550p.

FIORI, A. P.; OKA-FIORI, C.; DISPERATI, L.; CONCEIÇÃO, A.; KOZCIAK, S.; GUEDES, J. A.; CIALI, A. 2001. O processo erosivo na bacia do Alto Paraguai. **Boletim Paranaense de Geociências**, Curitiba: UFPR, n.49, p.63-78, 2001.

FONSECA, A. P. **Análise de mecanismos de escorregamento associados a voçorocamento em cabeceira de drenagem na bacia do rio Bananal (SP/RJ)**.

2006. 374f. Tese (Doutorado em Ciências em Engenharia Civil) – Universidade Federal do Rio de Janeiro – UFRJ. Rio de Janeiro, 2006.

FORNELOS, L. F.; NEVES, S. M. A. S. Uso de modelos digitais de elevação (MDE) gerados a partir de imagens de radar interferométrico (SRTM) na estimativa de perdas de solo. **Revista Brasileira de Cartografia**, n.59/01, abr,p.25-33, 2007.

GLEYZER, A.; DENISYUK, M.; RIMMER, A.; SALINGAR, Y. A fast recursive gis algorithm for computing strahler stream order in braided and nonbraided networks. **Journal of the American Water Resources Association – JAWRA**, v.40, p.937-946, 2004.

GONZAGA, C. A. M.; WANDEMBRUCK, A.; SEGER, C. D.; BIONDI, D. Análise paisagística da trilha recreativa do Parque Municipal do Passaúna, Curitiba, Paraná. **Cad. Biodivers**, v.4, n.2, p.66-73, dez. 2004.

GOULART, C. F. **Diagnóstico e zoneamento ambiental da represa Alagados – Ponta Grossa**. 2001. 51f. Monografia (Especialização em Gestão Ambiental), Universidade Estadual de Ponta Grossa. Ponta Grossa, 2001.

GUERRA, A. J. T. Início do processo erosivo. In: GUERRA, A. J. T *et al.* (org.). **Erosão e conservação dos solos**: conceitos, temas e aplicações. 2. ed. Rio de Janeiro: Bertrand Brasil, p. 17-56, 2005.

GUERRA, A. J. T. Processos erosivos nas encostas. In: GUERRA, A. J. T.; CUNHA, S. B. (org.). **Geomorfologia**: uma atualização de bases e conceitos. 2. ed. Rio de Janeiro: Bertrand Brasil, 1995. 472p.

GUIMARÃES, G. B. **As rochas granitóides do Complexo Granítico Cunhaporanga, Paraná**: aspectos geológicos, geofísicos, geoquímicos e mineralógicos. 2000. 230f. Tese (Doutorado em Geociências), Universidade de São Paulo – USP. São Paulo, 2000.

IAEG – International Association of Engineering Geology. Report of the Commision Engineering Geological Mapping. Classification of rocks and soils for engineering geology mapping – Part 1: rock and soil materials. **Bulletin of the International Association of Engineering Geology**. Krefeld, v.19, p.364-371, 1979.

IAPAR – Instituto Agrônômico do Paraná. **Cartas climáticas do Paraná**. 2000. Disponível em: <[http://200.201.27.14/site/sma/cartas\\_climaticas/cartas\\_climaticas.htm](http://200.201.27.14/site/sma/cartas_climaticas/cartas_climaticas.htm)> Acesso em: 17.10.2007.

IBGE - INSTITUTO BRASILEIRO DE GEOGRAFIA E ESTATÍSTICA. **Manual técnico de uso da terra**. 2. ed. Série Manuais Técnicos em Geociências, n.º 7. Rio de Janeiro: IBGE, 2006. 91p.

IBGE – Instituto Brasileiro de Geografia e Estatística. **Manual Técnico da Vegetação do Brasileira**. Rio de Janeiro: IBGE, 1992. 91p.

IBGE – Instituto Brasileiro de Geografia e Estatística. **Mapa Vegetação do Brasil**. Escala 1:5.000.000. 3. ed. 2004. Disponível em: <[ftp://ftp.ibge.gov.br/cartas\\_e\\_mapas/mapas\\_murais/](ftp://ftp.ibge.gov.br/cartas_e_mapas/mapas_murais/)> Acesso em: 25.04.2009.

INPE – Instituto Nacional de Pesquisas Espaciais. **Apostila sobre Análise Espacial de Dados Geográficos**. São José dos Campos, 2000.

INPE – Instituto Nacional de Pesquisas Espaciais. **Imagens do Satélite CBERS 2** – Sensor CCD. Órbita 157, Ponto 128, composição colorida nas bandas 2, 3 e 4 (BRG). Data: 07.03.2007a. Disponível em <<http://www.dgi.inpe.br/CDSR/>> Acesso em: 26.03.2007.

INPE – Instituto Nacional de Pesquisas Espaciais. **Imagens do Satélite CBERS 2B** – Sensor CCD. Órbita 157, Ponto 128, composição colorida nas bandas 2, 3 e 4 (BRG). Data: 29.08.2009. Disponível em <<http://www.dgi.inpe.br/CDSR/>> Acesso em: 13.09.2009.

INPE – Instituto Nacional de Pesquisas Espaciais. **Imagens do Satélite LANDSAT 5** – Imagem TM. Órbita 221, Ponto 077, composição colorida nas bandas 2, 3 e 4 (BRG). Data: 26.05.1984. Disponível em <<http://www.dgi.inpe.br/CDSR/>> Acesso em: 06.11.2007.

INPE – Instituto Nacional de Pesquisas Espaciais. **Imagens do Satélite LANDSAT 5** – Imagem TM. Órbita 221, Ponto 077, composição colorida nas bandas 2, 3 e 4 (BRG). Data: 23.04.1995. Disponível em <<http://www.dgi.inpe.br/CDSR/>> Acesso em: 16.08.2008.

INPE – Instituto Nacional de Pesquisas Espaciais. **Imagens do Satélite LANDSAT 7** – Imagem ETM<sup>+</sup>. Órbita 221, Ponto 077, composição colorida nas bandas 2, 3 e 4 (BRG). Data: 17.03.2002. Disponível em <<http://www.dgi.inpe.br/CDSR/>> Acesso em: 18.01.2008.

INPE – Instituto Nacional de Pesquisas Espaciais. **SPRING 5.0**– Sistema de Processamento de Informações Georeferenciadas. 2007b. Disponível em: <<http://www.dpi.inpe.br/spring>> Acesso em: 20.01.2009.

IPARDES – Instituto Paranaense de Desenvolvimento Econômico e Social. **Base de Dados do Estado – BDEweb**. Curitiba: Governo do Paraná. Disponível em: <<http://www.ipardes.gov.br>> Acesso em: 15.06.2009.

ITCG – Instituto de Terras Cartografia e Geociência. **Mapa das Formações Fitogeográficas do Estado do Paraná**. Escala 1:2.000.000. Sistema de Projeção UTM/Datum Horizontal SAD 69. Curitiba: SEMA/Gov. do Paraná, 2009.

JICA – Japan International Cooperation Agency. The master plan study on the utilization of water resources in Paraná state the Federative Republic of Brazil. Tokio: JICA, v. J: **Soil and Erosion Forest**, 1995. 97p.

LAL, R. Soil degradation by erosion. **Land degradation e development**, n.12, p.519-539, 2001.

LARIOS, M. B. **Controle da erosão**. Disponível em: <<http://www.drenagem.ufjf.br/06erosao.htm>> Acesso em: 12.05.2008.

LEINZ, V.; AMARAL, S. E. **Geologia Geral**. 2. ed. São Paulo: Nacional, 1985. 397p.

LEMOS, R. C.; SANTOS, R. D. **Manual de descrição e coleta de solo no campo**. Campinas: SBSCS, 1984. 46p.

LIMA, A. M. M.; GANDOLFI, N. Carta de susceptibilidade à erosão por escoamento concentrado, em bacias hidrográficas: aplicação na porção média da bacia do rio Capivari – SP. **Revista Latino-Americana de Geotecnia**. São Paulo: ABMS/ABGE, v.23, n.3, p.205-216, dez. 2000.

LIMA, M. I. C. **Análise de drenagem e seu significado geológico-geomorfológico**. Belém: s.e., 2002.

LOLLO, J. A. **O uso da técnica de avaliação do terreno no processo de elaboração do mapeamento geotécnico**: sistematização e aplicação na quadricula de Campinas. 1995, 267 f. Tese (Doutorado em Engenharia Geotécnica) – Escola de Engenharia de São Carlos, Universidade de São Paulo. São Carlos, 1995. Disponível em: <<http://www.slideshare.net/jlollo/tese-de-doutorado>> Acesso em: 15.12.2009.

LOMBARDI NETO, F. MOLDENHAUER, W. C. Erosividade da Chuva: sua distribuição e relação com as perdas de solo em Campinas - SP. **Conservação dos Solos**. **Bragantia**, Campinas, v.51, n.2, p.189-196, 1992.

MAACK, R. Breves notícias sobre a geologia dos estados do Paraná e Santa Catarina. Artigo publicado no Arquivos de Biologia e Tecnologia, v.2, p.63-154, 1947. **Brazilian Archives of Biology and Technology**, Curitiba: Instituto de Biologia e Pesquisas Tecnológicas, v. Jubileu (1946-2001), p.169 – 288, dez. 2001.

MAACK, R. **Geografia física do estado do Paraná**. 2. ed. Rio de Janeiro: Livraria José Olympio Editora; Curitiba: Secretaria da Cultura e do Esporte do Governo do Estado do Paraná, 1981. 450p.

MACIEL FILHO, C. L. **Introdução à geologia de engenharia**. Santa Maria: UFSM, 1994. 284p.

MAFRA, N. M. C. Erosão e planificação de uso do solo. In: GUERRA, A. J. T *et al.* (org.). **Erosão e conservação dos solos**: conceitos, temas e aplicações. 2. ed. Rio de Janeiro: Bertrand Brasil, p.17-56, 2005.

MAHMOOD, K. **Reservoir Sedimentation**: Impact, Extent, and Mitigation. Washington: World Bank Technical Paper, n.71, September 1987. 134p.

MARQUES NETO, R. Neotectônica no Planalto do Alto Rio Grande: aplicação de parâmetros morfométricos como subsídio ao estudo morfotectônico da bacia do rio do Peixe. In: Simpósio Brasileiro de Geografia Física Aplicada, 13. 2009, Viçosa. **Resumo Expandido...** Viçosa, 06 a 10 de julho, 2009.

MARQUES, J. Q. A. Política de conservação do solo. **Boletim do Serviço de Informação Agrícola – S.I.A.** Rio de Janeiro: Ministério da Agricultura. n.734, 1949. 73p.

MINEROPAR – Minerais do Paraná S.A. **Atlas geomorfológico do estado do Paraná**: escala base 1:250.000, modelos reduzidos 1:650.000. Curitiba: MINEROPAR/UFPR, 2006a. 63p.

MINEROPAR – Minerais do Paraná S.A. **Geologia do Paraná – Atlas geológico do estado do Paraná**. Escala base 1:250.000. Curitiba, 2006b. 116p. Disponível em: <<http://www.mineropar.pr.gov.br/mineropar>> Acesso em: 10.10.2007.

MINEROPAR – Minerais do Paraná S.A. **Guia de prevenção de acidentes geológicos urbanos**. Curitiba, p.25-29, 1998.

MINEROPAR – Minerais do Paraná S.A. **Projeto Riquezas Minerais**: avaliação do potencial mineral e consultoria técnica no município de Jaguariaíva – Relatório Final. Curitiba: Secretaria de Estado da Indústria, do Comércio e do Turismo – SEIT, jun. 2001. 51p.

MINEROPAR – Minerais do Paraná S.A. **Síntese da geologia e dos recursos minerais do Paraná**. 2009. Disponível em: <<http://www.mineropar.pr.gov.br>> Acesso em: 02.08.2009.

MORRIS, G. L.; FAN, J. **Reservoir sedimentation handbook**. New York: McGraw-HILL. 1997. 365p.

OKA-FIORI, C.; FIORI, A. P.; HASUI, Y. Tolerância de perdas de solo na bacia do rio Itiquira, Mato Grosso, Brasil. **Boletim Paranaense de Geociências**. Curitiba: UFPR, n.54, p.83-99, 2004.

OLIVEIRA, A. O. S. A.; NEVES NETO, C. C. Geomorfologia e meio ambiente: o estudo da apropriação do relevo para o desenvolvimento ambiental do meio rural e o Programa Estadual de Microbacias Hidrográficas em São Paulo. **Revista Formação - Especial 20 anos**, n.15, v.2, p.89-99, 2008.

ORTIGÃO, J. A. R. **Introdução à mecânica dos solos dos estados críticos**. 3. ed. s.l: TERRATEC, 2007. 391p. Disponível em: <<http://etg.ufmg.br/~gustavo/arquivos/ortigao.pdf>> Acesso em: 03.08.2009.

OUYANG, J. B. D. **Predicting sediment delivery ratio in saginaw bay watershed**. In: NATIONAL ASSOCIATION OF ENVIRONMENTAL PROFESSIONALS CONFERENCE PROCEEDINGS, 22nd, 1997, Orlando, May 19-23, p.659-671, 1997. Disponível em: <<http://www.iwr.msu.edu/~ouyangda/sdr/sag-sdr.htm>> Acesso em: 27.09.09.

OWOPUTI, L. O.; STOLTE, W. J. The role of seepage in erodibility. **Hydrological process**. Elsevier, n.15, p.13-22, 2001.

PARANHOS FILHO, A. C.; FIORI, A. P.; DISPERATI, L.; LUCCHESI, C.; CIALI, A.; LASTORIA, G. Avaliação multitemporal das perdas de solos na Bacia do rio Taquarizinho – MS. **Boletim Paranaense de Geociências**. Curitiba: UFPR, n.52, p.49-59, 2003.

PEREIRA, A. R. Determinação da perda de solo. **Boletim Técnico**. Belo Horizonte: Gráfica FAPI, ano 1, n.1, mar. 2006.



PIDWIRNY, M.: Chapter 10: Introduction to the Lithosphere - Stream Morphometry. In: **Fundamentals of Physical Geography**. 2ed. University of British Columbia Okanagan. 2006. Disponível em: <<http://www.physicalgeography.net/fundamentals/10ab.html>> Acesso em: 05.12.2009.

POLITANO, W.; AMARAL, C.; LOPES, L. R. Relacionamento entre bacias hidrográficas de diferentes ordens de magnitude. **Científica**. São Paulo, v.23, n.1, p.73-83, 1995.

PORTO, R. L. L. Escoamento superficial direto. In: TUCCI, C. E. M.; PORTO, R. L. L.; BARROS, M. T. (org.). **Drenagem Urbana**. Porto Alegre: Ed. UFRGS/ABRH, p.107-165, 1995.

PRADO, H. **Pedologia fácil – densidade do solo, porosidade e água disponível**. 2005. Disponível em: <[http://www.pedologiafacil.com.br/enq\\_22.php](http://www.pedologiafacil.com.br/enq_22.php)> Acesso em: 27.05.2009.

PROCHNOW, M. C. R. **Análise ambiental da sub-bacia do rio Piracicaba: subsídios ao seu planejamento e manejo**. 1990. 330f. Tese (Doutorado em Geociências e Ciências Exatas), Universidade Estadual Paulista. Rio Claro, 1990.

RAMIDAN, M. A. S. **Estudo de um processo de voçorocamento próximo a UHE de Itumbiara – GO**. 2003. 242f. Dissertação (Mestrado em Ciência de Engenharia) – Ciências de Engenharia Civil, Pontifícia Universidade Católica do Rio de Janeiro – PUC-RJ. Rio de Janeiro, 2003.

REINERT, D. J.; REICHERT, J. M. **Propriedades físicas do solo**. Anotações de aula. 2006. 18p. UFSM/Departamento de Solos. Disponível em: <[http://w3.ufsm.br/fisica\\_e\\_genese/graduacao/fisica](http://w3.ufsm.br/fisica_e_genese/graduacao/fisica)> Acesso em: 03.06.2009.

RIBEIRO, R. P. **Avaliação das alterações na rede de drenagem de sub-bacias hidrográficas da porção média da bacia do rio Capivari (SP): escala 1:25.000 – Subsídio para o Planejamento Integrado**. 2002. 206f. Dissertação (Mestrado em Geotecnia) – Escola de Engenharia de São Carlos, Universidade de São Paulo – USP. São Carlos, 2002.

SALAMUNI, E.; EBERT, H. D.; HASUI, Y. Morfotectônica da bacia sedimentar de Curitiba. **Revista Brasileira de Geociências**, v.34, n.4, p. 469-478, dez. 2004.

SALOMÃO, F. X .T. Controle e prevenção dos processos erosivos. In: GUERRA, A. J. T *et al.* (org.). **Erosão e conservação dos solos: conceitos, temas e aplicações**. 2. ed. Rio de Janeiro: Bertrand Brasil, p.229-268, 2005.

SAMPAIO, S. C.; QUEIROZ, M. M. F.; FRIGO, E. P.; LONGO, A. J.; SUSZEK, M. Estimativa e distribuição da precipitação mensal provável no estado do Paraná. **Irriga**. Botucatu, v. 12, n. 1, p. 38-57, jan-mar, 2007.

SANEPAR - Companhia de Saneamento do Paraná. **Notícias: Grupo gestor define mais quatro planos de ação para a bacia do Alagados**. Data: 13.07.2009. Disponível em:<<http://www.sanepar.com.br/sanepar/calandrakbx/calandra.nsf/0/def944a66f6d683a832576ea0068b735>> Acesso em: 03.03.2010.

SANTOS, L. J. C.; OKA-FIORI, C.; CANALI, N.E.; FIORI, A. P.; SILVEIRA, C. T.; SILVA, J. M. F.; ROSS, J. L. S. Mapeamento geomorfológico do Estado do Paraná. **Revista Brasileira de Geomorfologia**, ano 7, n.2, p.03-11, 2006.

SAUNITI, R., M.; FERNANDES, L. A.; BITTENCOURT, A. V. L. Estudo do assoreamento do reservatório da barragem do rio Passaúna – Curitiba – PR. **Boletim Paranaense de Geociências**, Curitiba: UFPR, n.54, p.65-82, 2004.

SELBY, M. J. **Hillslope material and process**. 2. ed. Oxford: Oxford University Press, 1993.

SEMA – Secretaria de Estado do Meio Ambiente e Recursos Hídricos. **Atlas da Vegetação do Estado do Paraná**. Curitiba, 2002. 1 CD-ROM.

SEMA – Secretaria de Estado do Meio Ambiente e Recursos Hídricos. **Levantamento aerofotogramétrico do Paraná de 1952**. Fotos aéreas na escala 1:25.000, 1952.

SEMA – Secretaria de Estado do Meio Ambiente e Recursos Hídricos. **Levantamento aerofotogramétrico do Paraná de 1980**. Fotos aéreas na escala 1:25.000, 1980.

SILVA, A. F. **Mapeamento geotécnico e análise dos processos erosivos na bacia do córrego Tuncum, São Pedro – SP, escala: 1:10.000**. 2003. 158f. Dissertação (Mestrado em Geotecnia) – Escola de Engenharia de São Carlos, Universidade de São Paulo – USP. São Carlos, 2003.

SILVA, A.; TERRA, V. S. S.; VIEGAS FILHO, J. S. **Determinação do tempo de concentração da bacia montante do arroio Chasqueiro**. In: Congresso de Iniciação Científica – CIC, 16; Encontro de Pós Graduação – ENPOS, 9. 2007. Pelotas: UFPel/Faculdade de Agronomia Eliseu Maciel, 27 a 29 de nov. 2007. Disponível em: <[http://www.ufpel.tche.br/cic/2007/cd/\\_pages/engenharias.html](http://www.ufpel.tche.br/cic/2007/cd/_pages/engenharias.html)> Acesso em: 10.10.09.

SILVA, K. A. **Análise da eficiência de métodos de controle de enchentes na atenuação de picos de cheias utilizando o modelo computacional SWMM – Storm Water Management Model**. 2007. 126f. Dissertação (Mestrado em Engenharia do Meio Ambiente) – Universidade Federal de Goiás. Goiânia, 2007.

SILVA, S. F. **Avaliação das alterações ambientais na sub-bacia hidrográfica do Ribeirão do Piçarrão – Campinas – SP**. 2000. 149f. Dissertação (Mestrado em Geotecnia) – Escola de Engenharia de São Carlos, Universidade de São Paulo – USP. São Carlos, 2000.

SILVA, V. C. Estimativa da erosão atual da bacia do rio Paracatu (MG/GO/DF). **Pesquisa Agropecuária Tropical**, v.34, n.3, p.147-159, 2004.

SILVEIRA, L. L. L. **Elaboração de carta de susceptibilidade à erosão das bacias dos rios Araraquara e Cubatão-SP, escala 1:50.000**. 2002. 211f. Dissertação (Mestrado em Geotecnia) – Escola de Engenharia de São Carlos, Universidade de São Paulo – USP. São Carlos, 2002.

SIQUEIRA, G. M. **Variabilidade de atributos físicos do solo determinados por métodos diversos**. 2006. 182f. Dissertação (Mestrado em Agricultura Tropical e Subtropical) – Instituto Agrônomo de Campinas, Universidade Estadual de Campinas. Campinas, 2006.

SKIDMORE, E. L. Soil-loss tolerance. In: AMERICAN SOCIETY OF AGRONOMY. **Determinants of soil-loss tolerance**. Madison, p.87-93, 1982.

SOARES, P. C.; FIORI, A. P. Lógica e sistemática na análise e interpretação de fotografias aéreas em geologia. **Notícia Geomorfológica**. Campinas, v.16, n.32, p.71-104, 1976.

SOBREIRA, F. G. Processos erosivos acelerados (voçorocas): o exemplo de Cachoeira do Campo, Ouro Preto, MG. **Revista Latino-Americana de Geotecnia**. São Paulo: ABMS/ABGE/Solos e Rochas, v.23, n.3, p.217-233, dez. 2000.

SOUZA, C. F.; ACIOLLY, L. A.; DORNELES, A. M.; MERTEN, G. Comparação dentre estimativa de produção de sedimentos na bacia do rio Potiribu. In: Encontro Nacional de Engenharia de Sedimentos, 7. 2006. Porto Alegre. **Anais ...** Porto Alegre, 2006. 20p.

SPRING – Sistema de Processamento de Informações Georeferenciadas. Integrating remote sensing and - GIS by object-oriented data modelling. In: CAMARA G.; SOUZA, R.C.M.; FREITAS, U.M.; GARRIDO, J. **Computers & Graphics**, v.20, n.3, p.395-403, May-Jun, 1996.

SPRING – Sistema de Processamento de Informações Georeferenciadas. **Manuais Tutorial de geoprocessamento - Classificação de imagens**. 2006. Disponível em: <<http://www.dpi.inpe.br/spring/portugues/tutorial/classific.html>> Acesso em: 05.12.2009.

SZABÓ, G. A. J.; ANDRADE, F. R. D.; GUIMARÃES, G. B.; CARVALHO, F. M.; MOYA, F. A. As jazidas de talco no contexto da história metamórfica dos metadolomitos do Grupo Itaiacoca, PR. **Geologia USP: Série Científica**, São Paulo: USP, v.5, n.2, p.13-31, mar. 2006.

TOMAZONI, J. C. **Morfodinâmica e transporte fluvial no Sudoeste do estado do Paraná por método de levantamento de microbacias hidrográficas através de geoprocessamento**. 2003. 308 f. Tese (Doutorado em Geologia Ambiental) – Universidade Federal do Paraná – UFPR. Curitiba, 2003.

TOMAZONI, J. C.; GUIMARÃES, E. A sistematização dos fatores da EUPS em SIG para quantificação da erosão laminar na bacia do rio Jirau. **Revista Brasileira de Cartografia**. v. 57, n. 03, p. 235-244, 2005.

TOMAZONI, J. C.; MANTOVANI, L. E.; BITTENCOURT, A. V. L.; ROSA FILHO, E. F. A sistematização dos fatores da EUPS em SIG para quantificação da erosão laminar na bacia do rio Anta Gorda (PR). **Estudos Geográficos**. Rio Claro, v. 3, n. 1, p. 01-21, jan-jun. 2005. Disponível em: <[www.rc.unesp.br/igce/grad/geografia/revista.htm](http://www.rc.unesp.br/igce/grad/geografia/revista.htm)> Acesso em: 28.05.08.

UEPG – Universidade Estadual de Ponta Grossa. **Relatório da Bacia hidrográfica do manancial Alagados**. Ponta Grossa: UEPG/NUCLEAM – Núcleo de Estudos em Meio Ambiente. Convênio: UEPG/COPEL/SANEPAR/ALL/IAP, 156f e meio digital – 6 CDs, em formato PDF, AutoCad R 14 (dwg e plt), 2002.

USDA – United States Department of Agriculture. **History e factos about the USLE**. Disponível em: <<http://topsoil.nserl.purdue.edu/usle/page7.html>> Acesso em: 13.05.2008.

VANONI, V. A. Sedimentation Engineering. **American Society of Civil Engineers – ASCE**. New York, 1977. 424p.

VILLELA, S. M.; MATTOS, A. **Hidrologia aplicada**. São Paulo: McGraw–Hill do Brasil, 1980.

WALKER, D. **Professional development course training manual**. Pennsylvania: International Erosion Control Association (IECA), 2004. 78p.

WALL, G. J. **Seazonal soil erodibility variation in southwestern Ontário**. Soil Sci., v.68, p.417-424, 1997.

WALLING, D. E. Measuring sediment yield from river basins. In: LAL, R. (ed.). **Soil erosion research methods**, SWCSA, Ankeny, p.39–74, 1988.

WISCHMEIER, W. H.; SMITH, D. D. **Predicting rainfall erosion losses: a guide to conservation planning**. Washington: USDA US Department of Agriculture, Handbook, n.537, 1978. 58p.

## **APÊNDICE 1 – ESTAÇÕES PLUVIOMÉTRICAS**

TABELA 30 – INFORMAÇÕES DAS ESTAÇÕES PLUVIOMÉTRICAS UTILIZADAS

Código	2449026	2449027	2449029
Nome	ABAPÃ	CAPÃO ALTO	PEDRAS
Município	CASTRO	CASTRO	CASTRO
Responsável	SUDERHSA	SUDERHSA – DESATIVADA	SUDERHSA – DESATIVADA
Latitude	-24:56:15	-24:48:0	-24:39:0
Longitude	-49:49:27	-49:52:0	-49:54:0
Altitude (m)	1007	920	1100

Código	2449028	2549056	2449030
Nome	SOCAVÃO	PINHEIRINHO	TABOR (FAZ. MARÃO)
Município	CASTRO	CASTRO	CASTRO
Responsável	SUDERHSA	SUDERHSA	SUDERHSA
Latitude	-24:46:28	-25:0:0	-24:37:59
Longitude	-49:42:0	-49:39:0	-49:40:59
Altitude (m)	1051	520	1100

Código	2450010	2450027	2450028
Nome	CASTRO – 83813	CAXAMBU	GUARAREMA
Município	CASTRO	CASTRO	CASTRO
Responsável	ANA – SUDERHSA	SUDERHSA – DESATIVADA	SUDERHSA – DESATIVADA
Latitude	-24:47:0	-24:40:59	-24:35:0
Longitude	-50:0:0	-50:1:0	-50:6:0
Altitude (m)	1009	1100	1100

Código	2450013	2450023	2450026
Nome	CHÁCARA CACHOEIRA	APARIÇÃO	COLÔNIA IAPÓ
Município	CASTRO	CASTRO	CASTRO
Responsável	ANA – SUDERHSA	SUDERHSA – DESATIVADA	SUDERHSA
Latitude	-24:46:0	-24:45:0	-24:37:59
Longitude	-50:4:0	-50:8:0	-50:7:59
Altitude (m)	975	1100	1050

Código	2549046	2550002	2550024
Nome	MATO QUEIMADO	USINA SÃO JORGE	PG – VILA VELHA
Município	PONTA GROSSA	PONTA GROSSA	PONTA GROSSA
Responsável	SUDERHSA – DESATIVADA	ANA – DESATIVADA	IAPAR
Latitude	-25:10:0	-25:2:0	-25:13:0
Longitude	-49:50:0	-50:5:0	-50:1:0
Altitude (m)	800	850	880

Código	2450056	2550003	2549052
Nome	ENG. LEITÃO	SANTA CRUZ	ITAIACOCA
Município	PONTA GROSSA	PONTA GROSSA	PONTA GROSSA
Responsável	ANA – SUDERHSA	ANA – SUDERHSA	SUDERHSA
Latitude	-24:57:0	-25:8:0	-25:8:0
Longitude	-50:23:0	-50:9:0	-49:54:0
Altitude (m)	780	790	-

Continua



## Continuação

Código	2450021	2550039	2550050
Nome	BOCAINA	GUARAGI	PIRIQUITOS
Município	PONTA GROSSA	PONTA GROSSA	PONTA GROSSA
Responsável	SUDERHSA	SUDERHSA – DESATIVADA	SUDERHSA – DESATIVADA
Latitude	-24:58:59	-25:17:0	-25:9:0
Longitude	-50:16:0	-50:14:0	-50:14:0
Altitude (m)	950	1000	1000

Código	2550016	2549053	2449023
Nome	UVAIA	ERVALZINHO	SÃO SEBASTIÃO
Município	PONTA GROSSA	ITAPERUÇU	CERRO AZUL
Responsável	COPEL – SUDERHSA	SUDERHSA	SUDERHSA
Latitude	-25:4:0	-25:7:59	-24:51:0
Longitude	-50:23:0	-49:33:0	-49:28:0
Altitude (m)	780	750	480

Código	2450024	2450022	2450057
Nome	CATANDUVA DE FORA	BOQUEIRÃO	SANTA MARIA
Município	CARAMBEÍ	CARAMBEÍ	TIBAGI
Responsável	SUDERHSA	SUDERHSA – DESATIVADA	SUDERHSA – DESATIVADA
Latitude	-24:57:0	-24:58:0	-24:57:0
Longitude	-50:0:0	-50:7:0	-50:24:0
Altitude (m)	1000	1050	1000

Código	2549047	2549022	2449010
Nome	TRÊS CÔRREGOS	SÃO SILVESTRE	AÇUNGUI
Município	CAMPO LARGO	CAMPO LARGO	RIO BRANCO DO SUL
Responsável	SUDERHSA	SUDERHSA – DESATIVADA	SUDERHSA – DESATIVADA
Latitude	-25:14:0	-25:3:0	-24:58:0
Longitude	-49:38:0	-49:38:0	-49:29:0
Altitude (m)	800	800	500

Código	2550015
Nome	USINA MANOEL RIBAS
Município	PALMEIRA
Responsável	SUDERHSA
Latitude	-25:19:0
Longitude	-50:0:0
Altitude (m)	870

## **APÊNDICE 2 – PROGRAMAS EM LINGUAGEM LEGAL**

PROGRAMA 1 – CÁLCULO DA EUPS .....	183
PROGRAMA 2 – CÁLCULO DO FATOR_K .....	184
PROGRAMA 3 – CÁLCULO DO FATOR_LS .....	185
PROGRAMA 4 – CÁLCULO DO FATOR_C E FATOR_P .....	186
PROGRAMA 5 – CÁLCULO DO FATOR_CP .....	187

## PROGRAMA 1 – CÁLCULO DA EUPS

```
{
//DECLARAÇÕES
Numerico FaLS ( "FATOR_LS" );
Numerico FaR ("FATOR_R");
Numerico FaK ("FATOR_K");
Numerico FaCP ("FATOR_CP");
Numerico Elamir ( "EUPS" );

// INSTACIAÇÕES
FaLS = Recupere ( Nome = "Fator_LS" );
FaR = Recupere ( Nome = "Fator_R_1984" );
FaK = Recupere ( Nome = "Fator_K" );
FaCP = Recupere ( Nome = "Fator_CP_1984" );
Elamir = Novo ( Nome = "Eups_1984", ResX=5, ResY=5, Escala=10000, Min=0, Max=1000);

//OPERAÇÃO
Elamir = ( FaR * FaK * FaLS * FaCP );
}
```

FONTE: Adaptado de Tomazoni (2003)

## PROGRAMA 2 – CÁLCULO DO FATOR\_K

```

{
//DECLARAÇÕES
Tematico MapaSolos ("MAPA_SOLOS");
Numerico FatorK ( "FATOR_K" );
Tabela FaK ( Ponderacao );

// INSTACIAÇÕES FATOR K
MapaSolos = Recupere ( Nome = "Solos");
FatorK = Novo (Nome = "Fator_K", ResX = 5, ResY = 5, Escala = 10000, Min = 0, Max = 1);
FaK = Novo ( Categoricalni = "MAPA_SOLOS" ,
"CXbd1" : 0.0231 ,
"CXbd2" : 0.0363 ,
"CXbd5" : 0.0357 ,
"NXd" : 0.0234 ,
"LBd1" : 0.0256 ,
"LBd2" : 0.0217 ,
"LVd4" : 0.0215 ,
"LVd8" : 0.0245 ,
"OYs2" : 0.0196 ,
"RLd" : 0.0204 ,
"RLh1" : 0.0178 ,
"RLh2" : 0.0209 ,
"AR1" : 0.0181) ;

// OPERAÇÕES FATOR K
FatorK = Pondere ( MapaSolos , FaK ) ;
}

```

FONTE: Adaptado de Tomazoni (2003)

## PROGRAMA 3 – CÁLCULO DO FATOR\_LS

```

{
//DECLARAÇÕES
Numerico DecMNT ( "DECLIVE" ) ;
Numerico DLS ("FATOR_LS");
Numerico RamMNT ( "ALTIMETRIA" ) ;
Numerico LLS ("FATOR_LS");

//INSTANCIACÕES
DecMNT = Recuperar (Nome= "DECLIVE_PER");
DLS = Novo ( Nome = "Fator_S" , ResX=5, ResY=5, Escala=10000, Min=0, Max=370);
RamMNT = Recuperar (Nome= "DISTANCIAS");
LLS = Novo ( Nome = "Fator_L" , ResX=5, ResY=5, Escala=10000, Min=0, Max=20000);
//OPERAÇÕES
DLS= (DecMNT<1)?1 : (DecMNT ^ 1.18) ;
LLS= (RamMNT ^ 0.63 ) ;

//DECLARAÇÕES FATOR LS
Numerico FLMNT, FSMNT ("FATOR_LS") ;
Numerico FLS ("FATOR_LS");

//INSTANCIACÕES FATOR LS
FLMNT = Recuperar (Nome= "Fator_L");
FSMNT = Recuperar (Nome = "Fator_S");
FLS = Novo ( Nome = "Fator_LS" , ResX=5, ResY=5 , Escala=10000, Min=0, Max=200);

//OPERAÇÕES FATOR LS
FLS= (0.00984*( FLMNT*FSMNT)) ;
}

```

FONTE: Adaptado de Tomazoni (2003)

## PROGRAMA 4 – CÁLCULO DO FATOR\_C E FATOR\_P

```

{
//DECLARAÇÕES
Tematico Uso ( "MAPA_USO_OCUPAÇÃO" );
Numerico FatorC, FatorP ("FATOR_CP" );
Numerico FatoC, FatoP ("FATOR_CP" );
Tabela FaC (Ponderacao);
Tabela FaP (Ponderacao);

//INSTANCIACÕES
Uso = Recuperar ( Nome= "Uso_1984" );
FatorC = Novo ( Nome = "Fator_C_1984", ResX=5, ResY=5, Escala=10000, Min=0, Max=1);
FatorP = Novo ( Nome = "Fator_P_1984", ResX=5, ResY=5, Escala=10000, Min=0, Max=1);
FaC = Novo (CategorialNi = "MAPA_USO_OCUPAÇÃO",
"Campos_Pastagens" : 0.029,
"Vegetação_Primaria" : 0.001,
"Vegetação_Secundaria" : 0.012 ,
"Áreas_Cultivadas" : 0.256,
"Áreas_Encharcadas" : 0.012,
"Reflorestamentos" : 0.012 ,
"Lâminas_Água" : 0.000,
"Solo_Exposto_Úmido" : 1.000 ,
"Solo_Exposto_Seco" : 1.000 );
FaP = Novo (CategorialNi = "MAPA_USO_OCUPAÇÃO",
"Campos_Pastagens" : 0.5,
"Vegetação_Primaria" : 0.2 ,
"Vegetação_Secundaria" : 0.2 ,
"Áreas_Cultivadas" : 0.5,
"Áreas_Encharcadas" : 0.0,
"Reflorestamentos" : 0.5 ,
"Lâminas_Água" : 0.0,
"Solo_Exposto_Úmido" : 1.0 ,
"Solo_Exposto_Seco" : 1.0 );

//OPERAÇÕES
FatorC = Pondere (Uso, FaC);
FatorP = Pondere (Uso, FaP);
}

```

FONTE: Adaptado de Tomazoni (2003)

## PROGRAMA 5 – CÁLCULO DO FATOR\_CP

```
{  
  //DECLARAÇÕES FATOR CP  
  Numerico FatC , FatP, FatorCP ( "FATOR_CP" ) ;  
  
  //INSTANCIÇÕES FATOR CP  
  FatC = Recupere ( Nome = "Fator_C_1984" ) ;  
  FatP = Recupere ( Nome = "Fator_P_1984" ) ;  
  FatorCP = Novo ( Nome = "Fator_CP_1984", ResX=5, ResY=5, Escala=10000, Min=0,  
    Max=1);  
  
  //OPERAÇÕES FATOR CP  
  FatorCP = (FatorC * FatorP);  
}
```

FONTE: Adaptado de Tomazoni (2003)



### **APÊNDICE 3 – ÁREAS E VOLUMES DAS VOÇOROCAS**

TABELA 31 – DADOS DAS VOÇOROCAS IDENTIFICADAS NA BHAP PARA O ANO DE 1952

<b>VOÇOROCAS 1952</b>	<b>PROFUNDIDADE MÉDIA (m)</b>	<b>ÁREA (m<sup>2</sup>)</b>	<b>VOLUME (m<sup>3</sup>)</b>
1	0,15	82,77	12,42
2	0,82	314,73	257,50
3	1,14	473,81	542,25
4	0,46	325,95	149,01
5	0,97	419,76	405,77
6	0,64	162,12	104,22
7	0,83	350,58	292,15
8	2,03	793,70	1.611,44
9	0,74	257,44	189,57
10	0,42	294,15	123,01
11	0,37	172,80	63,36
12	1,19	167,07	198,10
<b>TOTAL</b>		<b>3.814,88</b>	<b>3.948,79</b>



TABELA 32 – DADOS DAS VOÇOROCAS IDENTIFICADAS NA BHAP PARA O ANO DE 1980

<b>VOÇOROCAS 1980</b>	<b>PROFUNDIDADE MÉDIA (m)</b>	<b>ÁREA (m<sup>2</sup>)</b>	<b>VOLUME (m<sup>3</sup>)</b>
1	1,11	450,56	500,62
2	0,96	325,95	314,31
3	1,35	720,24	969,92
4	0,69	191,70	131,45
5	1,01	443,91	449,46
6	0,49	285,21	140,01
7	0,56	610,63	340,67
8	0,93	251,21	232,37
9	1,15	254,91	293,15
10	0,50	85,34	42,67
11	1,55	271,07	420,16
12	1,45	218,73	317,15
13	0,94	183,04	171,60
14	0,98	155,40	152,81
15	1,13	525,59	593,91
16	0,39	200,79	78,08
17	0,75	102,08	76,56
18	1,91	307,77	589,17
<b>TOTAL</b>		<b>5.584,15</b>	<b>5.814,10</b>

TABELA 33 – DADOS DAS VOÇOROCAS IDENTIFICADAS NA BHAP PARA O ANO DE 2001


<b>VOÇOROCAS 2001</b>	<b>PROFUNDIDADE MÉDIA (m)</b>	<b>ÁREA (m<sup>2</sup>)</b>	<b>VOLUME (m<sup>3</sup>)</b>
1	1,50	235,48	353,21
2	1,77	289,25	511,75
3	0,88	125,52	109,83
4	1,13	107,13	120,52
5	0,83	385,61	321,34
6	0,81	377,41	306,64
7	2,05	634,53	1.301,88
8	1,52	1.336,86	2.031,00
9	3,50	307,23	1.075,32
10	1,50	422,43	633,64
11	1,33	266,98	355,97
12	1,31	688,38	905,10
13	1,10	129,77	142,75
14	1,09	1.276,45	1.389,08
15	2,30	669,44	1.542,10
16	0,93	440,79	407,73
17	1,06	208,57	220,16
18	1,39	1.656,17	2.305,90
19	0,91	496,49	449,95
20	1,11	690,29	766,99
21	1,29	1.000,20	1.285,97
22	1,85	1.051,17	1.948,51
23	1,93	922,80	1.784,90
24	1,98	1.291,03	2.556,75
25	0,74	459,20	337,65
26	3,71	333,57	1.238,96
27	0,92	168,46	154,42
28	1,78	1.826,63	3.245,96
29	1,48	591,43	875,76
<b>TOTAL</b>		<b>18.389,26</b>	<b>28.679,74</b>

## **ANEXO 1 – RESULTADOS DOS ENSAIOS LABORATORIAIS**

	Ministério da Educação Universidade Tecnológica Federal do Paraná Unidade Sudoeste - Campus Pato Branco Coordenação de Agronomia	 Governo do Estado do Paraná Secretaria de Agricultura e Abastecimento Instituto Agrônomo do Paraná
---	---	--

### Laudo de Análise de Solo

Solicitante : Clarice F. de Lemos (Doutorado - COEDI)	Laudo : 4517	Amostra: 941
Endereço: Bacia do Rio Pitangui	Data: 15/09/2008	
Propriedade: - Ponta Grossa - PR	Profundidade: 0 a 20 cm	
Talhão: 1 - P01	Nº Inscrição Prop.: 0	
Técnico: ....		

Alto												
Médio												
Baixo												
Resultados	4,02	0,85	0,01	2,08	40,20	6,30	3,37	4,10				
	MO gdm <sup>-3</sup>	P mgdm <sup>-3</sup>	K cmol <sub>c</sub> dm <sup>-3</sup>	Cu mgdm <sup>-3</sup>	Fe mgdm <sup>-3</sup>	Zn mgdm <sup>-3</sup>	Mn mgdm <sup>-3</sup>	pH CaCl <sub>2</sub>				

OBS: K(mgdm<sup>3</sup>): 3,91

Valores encontrados no Solo Kgha <sup>-1</sup>	MO	P <sub>2</sub> O <sub>5</sub>	K <sub>2</sub> O	Cu	Fe	Zn	Mn	pH
	Kgha <sup>-1</sup>			Kgha <sup>-1</sup>				
	8.040,00	3,90	9,40	4,16	80,40	12,60	6,74	4,10





Alto												
Médio												
Baixo												
Resultados	6,20	0,60	4,28	0,20	1,45		1,66	27,95	26,55			
	Índice SMP	Al <sup>+3</sup> cmol <sub>c</sub> dm <sup>-3</sup>	H+Al cmol <sub>c</sub> dm <sup>-3</sup>	Ca cmol <sub>c</sub> dm <sup>-3</sup>	Mg cmol <sub>c</sub> dm <sup>-3</sup>		SB cmol <sub>c</sub> dm <sup>-3</sup>	V (%)	Sat. Al (%)			

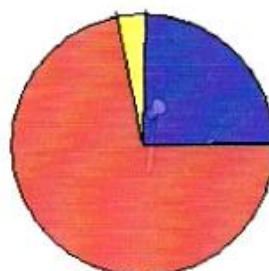
Metodologias: M.O. por digestão úmida; P,K,Cu,Fe,Zn e Mn extraídos com solução de Mehlich - I; pH em CaCl<sub>2</sub> 1:2,5  
Ca, Mg e Al trocáveis extraídos com KCl 1 mol L<sup>-1</sup>

Análise Granulométrica		
Argila (%): 45,20	Areia (%): 24,30	Silte (%): 30,50

#### Porcentagem dos valores em relação ao CTC

Valor do CTC = 5,94

K: 0,17 %   
Mg: 24,41 %   
Ca: 3,37 %   
H+Al: 72,05 % 



	Ministério da Educação Universidade Tecnológica Federal do Paraná Unidade Sudoeste - Campus Pato Branco Coordenação de Agronomia	 Governo do Estado do Paraná Secretaria de Agricultura e Abastecimento Instituto Agrônomo do Paraná
---	---	--

### Laudo de Análise de Solo

Solicitante : Clarice F. de Lemos (Doutorado - COEDI)	Laudo : 4517	Amostra:942
Endereço: Bacia do Rio Pitangui	Data: 15/09/2008	
Propriedade: - Ponta Grossa - PR		
Talhão: 2 - P02	Profundidade: 0 a 20 cm	
Técnico: ....	Nº Inscrição Prop. : 0	

Alto								
Médio								
Baixo								
Resultados	50,93	1,26	0,01	2,70	135,08	2,34	9,10	3,90
	MO gdm <sup>-3</sup>	P mgdm <sup>-3</sup>	K cmol <sub>c</sub> dm <sup>-3</sup>	Cu mgdm <sup>-3</sup>	Fe mgdm <sup>-3</sup>	Zn mgdm <sup>-3</sup>	Mn mgdm <sup>-3</sup>	pH CaCl <sub>2</sub>

OBS: K(mgdm<sup>3</sup>): 3,91

Valores encontrados no Solo Kgha <sup>-1</sup>	MO	P <sub>2</sub> O <sub>5</sub>	K <sub>2</sub> O	Cu	Fe	Zn	Mn	pH
	Kgha <sup>-1</sup>			Kgha <sup>-1</sup>				
	101.860,00	5,77	9,40	5,40	270,16	4,68	18,20	3,90

Alto								
Médio								
Baixo								
Resultados	4,60	2,48	17,23	0,34	1,21	1,56	8,30	61,39
	Índice SMP	Al <sup>3+</sup> cmol <sub>c</sub> dm <sup>-3</sup>	H+Al cmol <sub>c</sub> dm <sup>-3</sup>	Ca cmol <sub>c</sub> dm <sup>-3</sup>	Mg cmol <sub>c</sub> dm <sup>-3</sup>	SB cmol <sub>c</sub> dm <sup>-3</sup>	V (%)	Sat. Al (%)

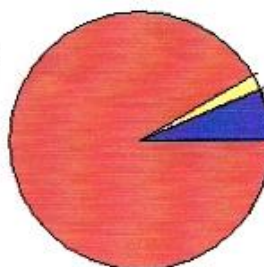
Metodologias: M.O. por digestão úmida; P,K,Cu,Fe,Zn e Mn extraídos com solução de Mehlich - I; pH em Ca.Cl<sub>2</sub> 1:2,5  
Ca, Mg e Al trocáveis extraídos com KCl 1 mol L<sup>-1</sup>

Análise Granulométrica		
Argila (%): 48,80	Areia (%): 34,40	Silte (%): 16,80



#### Porcentagem dos valores em relação ao CTC

Valor do CTC = 18,79

K:	0,05 %	
Mg:	6,44 %	
Ca:	1,81 %	
H+Al:	91,7 %	





	Ministério da Educação Universidade Tecnológica Federal do Paraná Unidade Sudoeste - Campus Pato Branco Coordenação de Agronomia		Governo do Estado do Paraná Secretaria de Agricultura e Abastecimento Instituto Agrônomo do Paraná
---	---	---	--

### Laudo de Análise de Solo

Solicitante : Clarice F. de Lemos (Doutorado - COEDI)	Laudo : 4517	Amostra: 943
Endereço: Bacia do Rio Pitangui	Data: 15/09/2008	
Propriedade: - Ponta Grossa - PR	Profundidade: 0 a 20 cm	
Talhão: 3 - P03	Nº Inscrição Prop.: 0	
Técnico: ....		

Alto								
Médio								
Baixo								
Resultados	1,34	0,85	0,02	0,58	57,58	2,72	8,92	4,00
	MO gdm <sup>-3</sup>	P mgdm <sup>-3</sup>	K cmol <sub>c</sub> dm <sup>-3</sup>	Cu mgdm <sup>-3</sup>	Fe mgdm <sup>-3</sup>	Zn mgdm <sup>-3</sup>	Mn mgdm <sup>-3</sup>	pH CaCl <sub>2</sub>

OBS: K(mgdm<sup>3</sup>): 7,82

Valores encontrados no Solo Kg/ha <sup>-1</sup>	MO	P <sub>2</sub> O <sub>5</sub>	K <sub>2</sub> O	Cu	Fe	Zn	Mn	pH
	Kg/ha <sup>-1</sup>			Kg/ha <sup>-1</sup>				
	2.680,00	3,90	18,79	1,16	115,16	5,44	17,84	4,00

Alto								
Médio								
Baixo								
Resultados	5,60	3,05	6,69	0,09	1,17	1,28	16,06	70,44
	Índice SMP	Al <sup>+3</sup> cmol <sub>c</sub> dm <sup>-3</sup>	H+Al cmol <sub>c</sub> dm <sup>-3</sup>	Ca cmol <sub>c</sub> dm <sup>-3</sup>	Mg cmol <sub>c</sub> dm <sup>-3</sup>	SB cmol <sub>c</sub> dm <sup>-3</sup>	V (%)	Sat. Al (%)

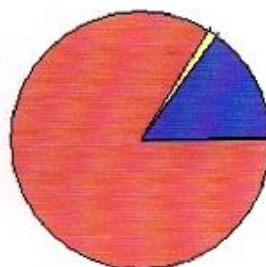
Metodologias: M.O. por digestão úmida; P,K,Cu,Fe,Zn e Mn extraídos com solução de Mehlich - I; pH em CaCl<sub>2</sub> 1:2,5  
Ca, Mg e Al trocáveis extraídos com KCl 1 mol L<sup>-1</sup>

Análise Granulométrica		
Argila (%): 19,80	Areia (%): 29,10	Silte (%): 51,10



#### Porcentagem dos valores em relação ao CTC

Valor do CTC = 7,97

K:	0,25 %	
Mg:	14,68 %	
Ca:	1,13 %	
H+Al:	83,94 %	





	Ministério da Educação Universidade Tecnológica Federal do Paraná Unidade Sudoeste - Campus Pato Branco Coordenação de Agronomia	 Governo do Estado do Paraná Secretaria de Agricultura e Abastecimento Instituto Agrônomo do Paraná
---	---	--

### Laudo de Análise de Solo

Solicitante : Clarice F. de Lemos (Doutorado - COEDI) Endereço: Bacia do Rio Pitangui Propriedade: - Ponta Grossa - PR Talhão: 4 - P04 (HA) Técnico: ....	Laudo : 4517      Amostra: 944 Data: 15/09/2008 Profundidade: 0 a 20 cm Nº Inscrição Prop.: 0
---	--

Alto									
Médio									
Baixo									
Resultados	33,51	0,85	0,02	1,52	51,07	3,88	8,86	4,00	
	MO gdm <sup>-3</sup>	P mgdm <sup>-3</sup>	K cmol <sub>c</sub> dm <sup>-3</sup>	Cu mgdm <sup>-3</sup>	Fe mgdm <sup>-3</sup>	Zn mgdm <sup>-3</sup>	Mn mgdm <sup>-3</sup>	pH CaCl <sub>2</sub>	

OBS: K(mgdm<sup>-3</sup>): 7,82

Valores encontrados no Solo Kg ha <sup>-1</sup>	MO	P <sub>2</sub> O <sub>5</sub>	K <sub>2</sub> O	Cu	Fe	Zn	Mn	pH
	Kg ha <sup>-1</sup>			Kg ha <sup>-1</sup>				
	67.020,00	3,90	18,79	3,04	102,14	7,76	17,72	4,00

Alto									
Médio									
Baixo									
Resultados	4,90	1,46	11,26	0,26	1,33		1,61	12,51	47,56
	Índice SMP	Al <sup>+3</sup> cmol <sub>c</sub> dm <sup>-3</sup>	H+Al cmol <sub>c</sub> dm <sup>-3</sup>	Ca cmol <sub>c</sub> dm <sup>-3</sup>	Mg cmol <sub>c</sub> dm <sup>-3</sup>		SB cmol <sub>c</sub> dm <sup>-3</sup>	V (%)	Sat. Al (%)

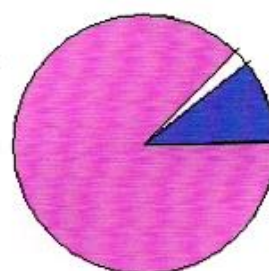
Metodologias: M.O. por digestão úmida; P,K,Cu,Fe,Zn e Mn extraídos com solução de Mehlich - I; pH em CaCl<sub>2</sub> 1:2,5  
Ca, Mg e Al trocáveis extraídos com KCl 1 mol L<sup>-1</sup>



Análise Granulométrica		
Argila (%): 60,50	Areia (%): 19,80	Silte (%): 19,70

#### Porcentagem dos valores em relação ao CTC

Valor do CTC = 12,87

K: 0,16 %  
Mg: 10,33 %  
Ca: 2,02 %  
H+Al: 87,49 %



	Ministério da Educação Universidade Tecnológica Federal do Paraná Unidade Sudoeste - Campus Pato Branco Coordenação de Agronomia	 Governo do Estado do Paraná Secretaria de Agricultura e Abastecimento Instituto Agrônomo do Paraná
---	---	--

### Laudo de Análise de Solo

Solicitante : Clarice F. de Lemos (Doutorado - COEDI)	Laudo : 4517	Amostra: 945
Endereço: Bacia do Rio Pitangui	Data: 15/09/2008	
Propriedade: - Ponta Grossa - PR		
Talhão: 5 - P04 (HB)	Profundidade: 20 a 50 cm	
Técnico: ....	Nº Inscrição Prop.: 0	

Alto								
Médio								
Baixo								
Resultados	8,04	0,85	0,01	0,56	33,96	5,03	2,45	5,10
	MO gdm <sup>-3</sup>	P mgdm <sup>-3</sup>	K cmol <sub>c</sub> dm <sup>-3</sup>	Cu mgdm <sup>-3</sup>	Fe mgdm <sup>-3</sup>	Zn mgdm <sup>-3</sup>	Mn mgdm <sup>-3</sup>	pH CaCl <sub>2</sub>

OBS: K(mgdm<sup>3</sup>): 3,91

Valores encontrados no Solo Kgha <sup>-1</sup>	MO	P <sub>2</sub> O <sub>5</sub>	K <sub>2</sub> O	Cu	Fe	Zn	Mn	pH
	Kgha <sup>-1</sup>			Kgha <sup>-1</sup>				
	16.080,00	3,90	9,40	1,12	67,92	10,06	4,90	5,10

Alto								
Médio								
Baixo								
Resultados	6,60	0,00	3,18	0,19	0,90	1,10	25,70	0,00
	Índice SMP	Al <sup>+3</sup> cmol <sub>c</sub> dm <sup>-3</sup>	H+Al cmol <sub>c</sub> dm <sup>-3</sup>	Ca cmol <sub>c</sub> dm <sup>-3</sup>	Mg cmol <sub>c</sub> dm <sup>-3</sup>	SB cmol <sub>c</sub> dm <sup>-3</sup>	V (%)	Sat. Al (%)

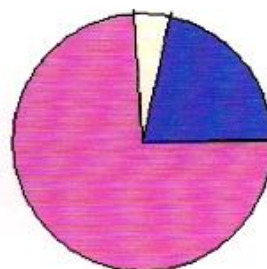
Metodologias: M.O. por digestão úmida; P,K,Cu,Fe,Zn e Mn extraídos com solução de Mehlich - I; pH em CaCl<sub>2</sub> 1:2,5  
Ca, Mg e Al trocáveis extraídos com KCl 1 mol L<sup>-1</sup>

Análise Granulométrica		
Argila (%): 61,20	Areia (%): 18,10	Silte (%): 20,70



#### Porcentagem dos valores em relação ao CTC

Valor do CTC = 4,28

K: 0,23 %  
Mg: 21,03 %  
Ca: 4,44 %  
H+Al: 74,3 %





	Ministério da Educação Universidade Tecnológica Federal do Paraná Unidade Sudoeste - Campus Pato Branco Coordenação de Agronomia		Governo do Estado do Paraná Secretaria de Agricultura e Abastecimento Instituto Agrônomo do Paraná
---	---	---	--

### Laudo de Análise de Solo

Solicitante : Clarice F. de Lemos (Doutorado - COEDI)	Laudo : 4517	Amostra: 946
Endereço: Bacia do Rio Pitangui	Data: 15/09/2008	
Propriedade: - Ponta Grossa - PR		
Talhão: 6 - P05	Profundidade: 0 a 20 cm	
Técnico: ....	Nº Inscrição Prop. : 0	

Alto												
Médio												
Baixo												
Resultados	4,02	0,85	0,01	0,10	23,48	3,50	1,51	4,90				
	MO gdm <sup>-3</sup>	P mgdm <sup>-3</sup>	K cmol <sub>c</sub> dm <sup>-3</sup>	Cu mgdm <sup>-3</sup>	Fe mgdm <sup>-3</sup>	Zn mgdm <sup>-3</sup>	Mn mgdm <sup>-3</sup>	pH CaCl <sub>2</sub>				

OBS: K(mgdm<sup>3</sup>): 3,91

Valores encontrados no Solo Kg ha <sup>-1</sup>	MO	P <sub>2</sub> O <sub>5</sub>	K <sub>2</sub> O	Cu	Fe	Zn	Mn	pH
	Kg ha <sup>-1</sup>			Kg ha <sup>-1</sup>				
	8.040,00	3,90	9,40	0,20	46,96	7,00	3,02	4,90

Alto												
Médio												
Baixo												
Resultados	6,60	0,00	3,18	0,10	0,72		0,83	20,70	0,00			
	Índice SMP	Al <sup>4+</sup> cmol <sub>c</sub> dm <sup>-3</sup>	H+Al cmol <sub>c</sub> dm <sup>-3</sup>	Ca cmol <sub>c</sub> dm <sup>-3</sup>	Mg cmol <sub>c</sub> dm <sup>-3</sup>		SB cmol <sub>c</sub> dm <sup>-3</sup>	V (%)	Sat, Al (%)			

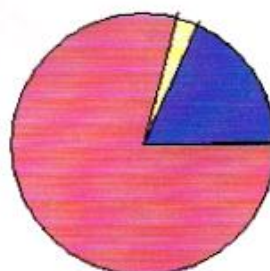
Metodologias: M.O. por digestão úmida; P,K,Cu,Fe,Zn e Mn extraídos com solução de Mehlich - I; pH em Ca.Cl<sub>2</sub> 1:2,5  
Ca, Mg e Al trocáveis extraídos com KCl 1 mol L<sup>-1</sup>


Análise Granulométrica		
Argila (%): 62,50	Areia (%): 17,00	Silte (%): 20,60

#### Porcentagem dos valores em relação ao CTC

Valor do CTC = 4,01

K:	0,25 %	
Mg:	17,96 %	
Ca:	2,49 %	
H+Al:	79,3 %	



<b>Ministério da Educação</b> <b>UTFPR</b> Universidade Tecnológica Federal do Paraná Unidade Sudoeste - Campus Pato Branco Coordenação de Agronomia	 <b>Governo do Estado do Paraná</b> Secretaria de Agricultura e Abastecimento Instituto Agronômico do Paraná
---	---

### Laudo de Análise de Solo

Solicitante : Clarice F. de Lemos (Doutorado - COEDI) Endereço: Bacia do Rio Pitangui Propriedade: - Ponta Grossa - PR Talhão: 7 - P08 Técnico: ....	Laudo : 4517      Amostra: 947 Data: 15/09/2008 Profundidade: 0 a 20 cm Nº Inscrição Prop. : 0
--	---

Alto									
Médio									
Baixo									
Resultados	9,38	1,26	0,01	1,86	61,36	2,01	2,95	4,10	
	MO gdm <sup>-3</sup>	P mgdm <sup>-3</sup>	K cmol <sub>c</sub> dm <sup>-3</sup>	Cu mgdm <sup>-3</sup>	Fe mgdm <sup>-3</sup>	Zn mgdm <sup>-3</sup>	Mn mgdm <sup>-3</sup>	pH CaCl <sub>2</sub>	

OBS: K(mgdm<sup>3</sup>): 3,91

Valores encontrados no Solo Kgha <sup>-1</sup>	MO	P <sub>2</sub> O <sub>5</sub>	K <sub>2</sub> O	Cu	Fe	Zn	Mn	pH
	Kgha <sup>-1</sup>			Kgha <sup>-1</sup>				
	18.760,00	5,77	9,40	3,72	122,72	4,02	5,90	4,10

Alto									
Médio									
Baixo									
Resultados	5,70	1,20	6,21	0,15	0,85	1,01	13,99	54,30	
	Índice SMP	Al <sup>3+</sup> cmol <sub>c</sub> dm <sup>-3</sup>	H+Al cmol <sub>c</sub> dm <sup>-3</sup>	Ca cmol <sub>c</sub> dm <sup>-3</sup>	Mg cmol <sub>c</sub> dm <sup>-3</sup>	SB cmol <sub>c</sub> dm <sup>-3</sup>	V (%)	Sat. Al (%)	

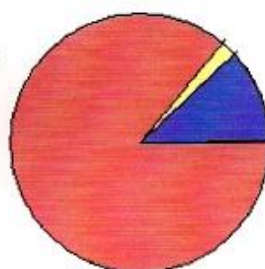
Metodologias: M.O. por digestão úmida; P,K,Cu,Fe,Zn e Mn extraídos com solução de Mehlich - I; pH em CaCl<sub>2</sub> 1:2,5  
Ca, Mg e Al trocáveis extraídos com KCl 1 mol L<sup>-1</sup>

Análise Granulométrica		
Argila (%): 47,00	Areia (%): 32,50	Silte (%): 20,50


#### Porcentagem dos valores em relação ao CTC

Valor do CTC = 7,22

K: 0,14 %  
 Mg: 11,77 %  
 Ca: 2,08 %  
 H+Al: 86,01 %





<b>UTFPR</b> Ministério da Educação Universidade Tecnológica Federal do Paraná Unidade Sudoeste - Campus Pato Branco Coordenação de Agronomia	 Governo do Estado do Paraná Secretaria de Agricultura e Abastecimento Instituto Agronômico do Paraná
---	--

### Laudo de Análise de Solo

Solicitante : Clarice F. de Lemos (Doutorado - COEDI)	Laudo : 4517	Amostra: 948
Endereço: Bacia do Rio Pitangui	Data: 15/09/2008	
Propriedade: - Ponta Grossa - PR		
Talhão: 8 - P07	Profundidade: 0 a 20 cm	
Técnico: ....	Nº Inscrição Prop.: 0	

Alto								
Médio								
Baixo								
Resultados	69,69	2,96	0,02	2,49	235,65	4,37	10,06	4,00
	MO gdm <sup>-3</sup>	P mgdm <sup>-3</sup>	K cmol <sub>e</sub> dm <sup>-3</sup>	Cu mgdm <sup>-3</sup>	Fe mgdm <sup>-3</sup>	Zn mgdm <sup>-3</sup>	Mn mgdm <sup>-3</sup>	pH CaCl <sub>2</sub>

OBS: K(mgdm<sup>-3</sup>): 7,82

Valores encontrados no Solo Kgha <sup>-1</sup>	MO	P <sub>2</sub> O <sub>5</sub>	K <sub>2</sub> O	Cu	Fe	Zn	Mn	pH
	Kgha <sup>-1</sup>			Kgha <sup>-1</sup>				
	139.380,00	13,56	18,79	4,98	471,30	8,74	20,12	4,00

Alto								
Médio								
Baixo								
Resultados	4,80	1,62	14,44	0,74	0,95	1,71	10,59	48,65
	Índice SMP	Al <sup>+3</sup> cmol <sub>e</sub> dm <sup>-3</sup>	H+Al cmol <sub>e</sub> dm <sup>-3</sup>	Ca cmol <sub>e</sub> dm <sup>-3</sup>	Mg cmol <sub>e</sub> dm <sup>-3</sup>	SB cmol <sub>e</sub> dm <sup>-3</sup>	V (%)	Sat. Al (%)

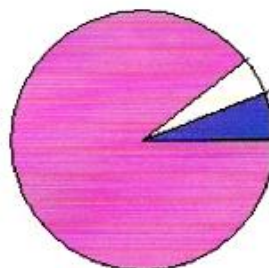
Metodologias: M.O. por digestão úmida; P,K,Cu,Fe,Zn e Mn extraídos com solução de Mehlich - I; pH em CaCl<sub>2</sub> 1:2,5  
Ca, Mg e Al trocáveis extraídos com KCl 1 mol L<sup>-1</sup>



Análise Granulométrica		
Argila (%): 27,20	Areia (%): 52,00	Silte (%): 20,80

#### Porcentagem dos valores em relação ao CTC

Valor do CTC = 16,15









K : 0,12 %  
Mg : 5,88 %  
Ca : 4,58 %  
H+Al : 89,41 %



	Ministério da Educação Universidade Tecnológica Federal do Paraná Unidade Sudoeste - Campus Pato Branco Coordenação de Agronomia		Governo do Estado do Paraná Secretaria de Agricultura e Abastecimento Instituto Agrônomo do Paraná
---	---	---	--

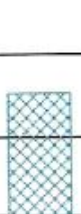







### Laudo de Análise de Solo

Solicitante : Clarice F. de Lemos (Doutorado - COEDI)	Laudo : 4517	Amostra: 949
Endereço: Bacia do Rio Pitangui	Data: 15/09/2008	
Propriedade: - Ponta Grossa - PR	Profundidade: 0 a 20 cm	
Talhão: 9 - P08	Nº Inscrição Prop. : 0	
Técnico: ....		

Alto								
Médio								
Baixo								
Resultados	58,97	19,38	0,02	6,30	256,22	4,49	204,09	5,00
	MO gdm <sup>-3</sup>	P mgdm <sup>-3</sup>	K cmol <sub>c</sub> dm <sup>-3</sup>	Cu mgdm <sup>-3</sup>	Fe mgdm <sup>-3</sup>	Zn mgdm <sup>-3</sup>	Mn mgdm <sup>-3</sup>	pH CaCl <sub>2</sub>

OBS: K(mgdm<sup>3</sup>): 7,82

Valores encontrados no Solo Kg ha <sup>-1</sup>	MO	P <sub>2</sub> O <sub>5</sub>	K <sub>2</sub> O	Cu	Fe	Zn	Mn	pH
	Kg ha <sup>-1</sup>			Kg ha <sup>-1</sup>				
	117.940,00	88,81	18,79	12,60	512,44	8,98	408,18	5,00

Alto								
Médio								
Baixo								
Resultados	5,90	0,00	5,47	6,15	2,73	8,90	61,93	0,00
	Índice SMP	Al <sup>3+</sup> cmol <sub>c</sub> dm <sup>-3</sup>	H+Al cmol <sub>c</sub> dm <sup>-3</sup>	Ca cmol <sub>c</sub> dm <sup>-3</sup>	Mg cmol <sub>c</sub> dm <sup>-3</sup>	SB cmol <sub>c</sub> dm <sup>-3</sup>	V (%)	Sat. Al (%)

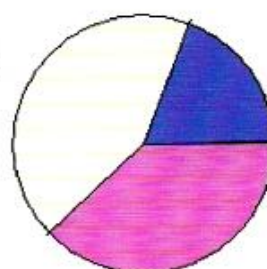
Metodologias: M.O. por digestão úmida; P,K,Cu,Fe,Zn e Mn extraídos com solução de Mehlich - I; pH em CaCl<sub>2</sub> 1:2,5  
Ca, Mg e Al trocáveis extraídos com KCl 1 mol L<sup>-1</sup>

Análise Granulométrica		
Argila (%): 29,30	Areia (%): 25,00	Silte (%): 45,70

#### Porcentagem dos valores em relação ao CTC

Valor do CTC = 14,37

K : 0,14 %  
Mg : 19 %  
Ca : 42,8 %  
H+Al : 38,07 %





### Laudo de Análise de Solo

Solicitante : Clarice F. de Lemos (Doutorado - COEDI)	Laudo : 4517	Amostra: 950
Endereço: Bacia do Rio Pitangui	Data: 15/09/2008	
Propriedade: - Ponta Grossa - PR		
Talhão: 10 - P09 (HA)	Profundidade: 0 a 20 cm	
Técnico: ....	Nº Inscrição Prop.: 0	

Alto								
Médio								
Baixo								
Resultados	14,74	1,26	0,25	2,88	103,80	1,74	12,91	4,10
	MO gdm <sup>-3</sup>	P mgdm <sup>-3</sup>	K cmol <sub>c</sub> dm <sup>-3</sup>	Cu mgdm <sup>-3</sup>	Fe mgdm <sup>-3</sup>	Zn mgdm <sup>-3</sup>	Mn mgdm <sup>-3</sup>	pH CaCl <sub>2</sub>

OBS: K(mgdm<sup>3</sup>): 97,75

Valores encontrados no Solo Kgha <sup>-1</sup>	MO	P <sub>2</sub> O <sub>5</sub>	K <sub>2</sub> O	Cu	Fe	Zn	Mn	pH
	Kgha <sup>-1</sup>			Kgha <sup>-1</sup>				
	29.480,00	5,77	234,89	5,76	207,60	3,48	25,82	4,10

Alto								
Médio								
Baixo								
Resultados	5,20	1,44	9,00	0,52	2,20	2,97	24,81	32,65
	Índice SMP	Al <sup>+3</sup> cmol <sub>c</sub> dm <sup>-3</sup>	H+Al cmol <sub>c</sub> dm <sup>-3</sup>	Ca cmol <sub>c</sub> dm <sup>-3</sup>	Mg cmol <sub>c</sub> dm <sup>-3</sup>	SB cmol <sub>c</sub> dm <sup>-3</sup>	V (%)	Sat. Al (%)

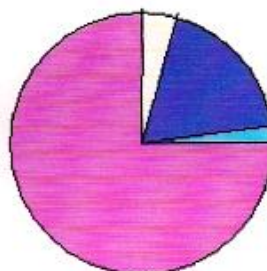
Metodologias: M.O. por digestão úmida; P,K,Cu,Fe,Zn e Mn extraídos com solução de Mehlich - I; pH em Ca.Cl<sub>2</sub> 1:2,5  
 Ca, Mg e Al trocáveis extraídos com KCl 1 mol L<sup>-1</sup>

Análise Granulométrica		
Argila (%): 48,40	Areia (%): 33,20	Silte (%): 18,40

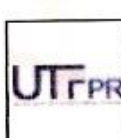

#### Porcentagem dos valores em relação ao CTC

Valor do CTC = 11,97

K: 2,09 %  
 Mg: 18,38 %  
 Ca: 4,34 %  
 H+Al: 75,19 %





	Ministério da Educação Universidade Tecnológica Federal do Paraná Unidade Sudoeste - Campus Pato Branco Coordenação de Agronomia	 Governo do Estado do Paraná Secretaria de Agricultura e Abastecimento Instituto Agrônomo do Paraná
---	---	--

### Laudo de Análise de Solo

Solicitante : Clarice F. de Lemos (Doutorado - COEDI) Endereço: Bacia do Rio Pitangui Propriedade: - Ponta Grossa - PR Talhão: 11 - P09 (HB) Técnico: ....	Laudo : 4517      Amostra:951 Data: 15/09/2008 Profundidade: 20 a 50 cm Nº Inscrição Prop. : 0
--	---

Alto											
Médio											
Baixo											
Resultados	6,70	0,85	0,02	0,83	47,64	3,20	3,20	4,40			
	MO gdm <sup>-3</sup>	P mgdm <sup>-3</sup>	K cmol <sub>c</sub> dm <sup>-3</sup>	Cu mgdm <sup>-3</sup>	Fe mgdm <sup>-3</sup>	Zn mgdm <sup>-3</sup>	Mn mgdm <sup>-3</sup>	pH CaCl <sub>2</sub>			

OBS: K(mgdm<sup>-3</sup>): 7,82

Valores encontrados no Solo Kgha <sup>-1</sup>	MO	P <sub>2</sub> O <sub>5</sub>	K <sub>2</sub> O	Cu	Fe	Zn	Mn	pH
	Kgha <sup>-1</sup>			Kgha <sup>-1</sup>				
	13.400,00	3,90	18,79	1,66	95,28	6,40	6,40	4,40

Alto											
Médio											
Baixo											
Resultados	6,20	0,19	4,28	0,07	1,23	1,32	23,57	12,58			
	Índice SMP	Al <sup>3+</sup> cmol <sub>c</sub> dm <sup>-3</sup>	H+Al cmol <sub>c</sub> dm <sup>-3</sup>	Ca cmol <sub>c</sub> dm <sup>-3</sup>	Mg cmol <sub>c</sub> dm <sup>-3</sup>	SB cmol <sub>c</sub> dm <sup>-3</sup>	V (%)	Sat. Al (%)			

Metodologias: M.O. por digestão úmida; P,K,Cu,Fe,Zn e Mn extraídos com solução de Mehlich - I; pH em Ca.Cl<sub>2</sub> 1:2,5  
Ca, Mg e Al trocáveis extraídos com KCl 1 mol L<sup>-1</sup>

Análise Granulométrica		
Argila (%): 44,70	Areia (%): 37,70	Silte (%): 17,60

#### Porcentagem dos valores em relação ao CTC

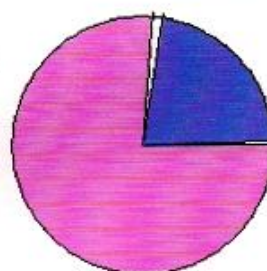
Valor do CTC = 5,60


K : 0,36 %

Mg : 21,96 %

Ca : 1,25 %

H+Al : 76,43 %



<b>UTFPR</b> Ministério da Educação Universidade Tecnológica Federal do Paraná Unidade Sudoeste - Campus Pato Branco Coordenação de Agronomia	 Governo do Estado do Paraná Secretaria de Agricultura e Abastecimento Instituto Agrônomo do Paraná
---	--

### Laudo de Análise de Solo

Solicitante : Clarice F. de Lemos (Doutorado - COEDI) Endereço: Bacia do Rio Pitangui Propriedade: - Ponta Grossa - PR Talhão: 12 - P10 Técnico: ....	Laudo : 4517      Amostra: 952 Data: 15/09/2008 Profundidade: 0 a 20 cm Nº Inscrição Prop. : 0
---	---

Alto									
Médio									
Baixo									
<b>Resultados</b>	17,42	2,10	0,01	0,76	219,20	3,32	56,44	3,80	
	MO gdm <sup>-3</sup>	P mgdm <sup>-3</sup>	K cmol <sub>c</sub> dm <sup>-3</sup>	Cu mgdm <sup>-3</sup>	Fe mgdm <sup>-3</sup>	Zn mgdm <sup>-3</sup>	Mn mgdm <sup>-3</sup>	pH CaCl <sub>2</sub>	

OBS: K(mgdm<sup>3</sup>): 3,91

Valores encontrados no Solo Kgha <sup>-1</sup>	MO	P <sub>2</sub> O <sub>5</sub>	K <sub>2</sub> O	Cu	Fe	Zn	Mn	pH
	Kgha <sup>-1</sup>			Kgha <sup>-1</sup>				
	34.840,00	9,62	9,40	1,52	438,40	6,64	112,88	3,80

Alto									
Médio									
Baixo									
<b>Resultados</b>	5,60	1,16	6,69	0,33	1,40	1,74	20,64	40,00	
	Índice SMP	Al <sup>+3</sup> cmol <sub>c</sub> dm <sup>-3</sup>	H+Al cmol <sub>c</sub> dm <sup>-3</sup>	Ca cmol <sub>c</sub> dm <sup>-3</sup>	Mg cmol <sub>c</sub> dm <sup>-3</sup>	SB cmol <sub>c</sub> dm <sup>-3</sup>	V (%)	Sat. Al (%)	

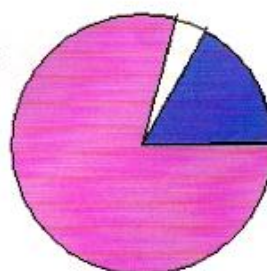
Metodologias: M.O. por digestão úmida; P,K,Cu,Fe,Zn e Mn extraídos com solução de Mehlich - I; pH em Ca.Cl<sub>2</sub> 1:2,5  
Ca, Mg e Al trocáveis extraídos com KCl 1 mol L<sup>-1</sup>

Análise Granulométrica		
Argila (%): 19,50	Areia (%): 39,40	Silte (%): 41,10

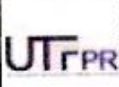

#### Porcentagem dos valores em relação ao CTC

Valor do CTC = 8,43

K: 0,12 %  
Mg: 16,61 %  
Ca: 3,91 %  
H+Al: 79,36 %





	Ministério da Educação Universidade Tecnológica Federal do Paraná Unidade Sudoeste - Campus Pato Branco Coordenação de Agronomia		Governo do Estado do Paraná Secretaria de Agricultura e Abastecimento Instituto Agrônomo do Paraná
---	---	---	--

### Laudo de Análise de Solo

Solicitante : Clarice F. de Lemos (Doutorado - COEDI)	Laudo : 4517	Amostra:953
Endereço: Bacia do Rio Pitangui	Data: 15/09/2008	
Propriedade: - Ponta Grossa - PR		
Talhão: 13 - P11 (HA)	Profundidade: 0 a 20 cm	
Técnico: ....	Nº Inscrição Prop. : 0	

Alto								
Médio								
Baixo								
Resultados	28,14	0,85	0,01	1,76	66,80	2,29	14,20	4,50
	MO gdm <sup>-3</sup>	P mgdm <sup>-3</sup>	K cmol <sub>c</sub> dm <sup>-3</sup>	Cu mgdm <sup>-3</sup>	Fe mgdm <sup>-3</sup>	Zn mgdm <sup>-3</sup>	Mn mgdm <sup>-3</sup>	pH CaCl <sub>2</sub>

OBS: K(mgdm<sup>3</sup>): 3,91

Valores encontrados no Solo Kgha <sup>-1</sup>	MO	P <sub>2</sub> O <sub>5</sub>	K <sub>2</sub> O	Cu	Fe	Zn	Mn	pH
	Kgha <sup>-1</sup>			Kgha <sup>-1</sup>				
	56.280,00	3,90	9,40	3,52	133,60	4,58	28,40	4,50

Alto								
Médio								
Baixo								
Resultados	5,40	0,18	7,76	1,52	3,00	4,53	36,86	3,82
	Índice SMP	Al <sup>+3</sup> cmol <sub>c</sub> dm <sup>-3</sup>	H+Al cmol <sub>c</sub> dm <sup>-3</sup>	Ca cmol <sub>c</sub> dm <sup>-3</sup>	Mg cmol <sub>c</sub> dm <sup>-3</sup>	SB cmol <sub>c</sub> dm <sup>-3</sup>	V (%)	Sat. Al (%)

Metodologias: M.O. por digestão úmida; P,K,Cu,Fe,Zn e Mn extraídos com solução de Mehlich - I; pH em Ca.Cl<sub>2</sub> 1:2,5  
Ca, Mg e Al trocáveis extraídos com KCl 1 mol L<sup>-1</sup>


Análise Granulométrica		
Argila (%): 49,30	Areia (%): 32,10	Silte (%): 18,60

#### Porcentagem dos valores em relação ao CTC

Valor do CTC = 12,29

K: 0,08 %  
Mg: 24,41 %  
Ca: 12,37 %  
H+Al: 63,14 %



<b>UTFPR</b> Ministério da Educação Universidade Tecnológica Federal do Paraná Unidade Sudoeste - Campus Pato Branco Coordenação de Agronomia	 Governo do Estado do Paraná Secretaria de Agricultura e Abastecimento Instituto Agrônomo do Paraná
---	--

### Laudo de Análise de Solo

Solicitante : Clarice F. de Lemos (Doutorado - COEDI) Endereço: Bacia do Rio Pitangui Propriedade: - Ponta Grossa - PR Talhão: 14 - P11 (HB) Técnico: ....	Laudo : 4517      Amostra:954 Data: 15/09/2008 Profundidade: 20 a 50 cm Nº Inscrição Prop. : 0
--	---

Alto																													
Médio																													
Baixo																													
Resultados	10,72	0,85	0,01		0,95	47,00	1,32	5,03	4,60																				
	MO gdm <sup>-3</sup>	P mgdm <sup>-3</sup>	K cmol <sub>c</sub> dm <sup>-3</sup>		Cu mgdm <sup>-3</sup>	Fe mgdm <sup>-3</sup>	Zn mgdm <sup>-3</sup>	Mn mgdm <sup>-3</sup>	pH CaCl <sub>2</sub>																				

OBS: K(mgdm<sup>3</sup>): 3,91

Valores encontrados no Solo Kg ha <sup>-1</sup>	MO	P <sub>2</sub> O <sub>5</sub>	K <sub>2</sub> O		Cu	Fe	Zn	Mn	pH
	Kg ha <sup>-1</sup>				Kg ha <sup>-1</sup>				
	21.440,00	3,90	9,40		1,90	94,00	2,64	10,06	4,60

Alto																													
Médio																													
Baixo																													
Resultados	6,20	0,00	4,28		0,46	1,20	1,67	28,07	0,00																				
	Índice SMP	Al <sup>+3</sup> cmol <sub>c</sub> dm <sup>-3</sup>	H+Al cmol <sub>c</sub> dm <sup>-3</sup>		Ca cmol <sub>c</sub> dm <sup>-3</sup>	Mg cmol <sub>c</sub> dm <sup>-3</sup>	SB cmol <sub>c</sub> dm <sup>-3</sup>	V (%)	Sat. Al (%)																				

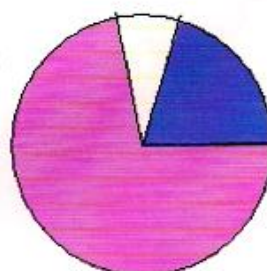
Metodologias: M.O. por digestão úmida; P,K,Cu,Fe,Zn e Mn extraídos com solução de Mehlich - I; pH em CaCl<sub>2</sub> 1:2,5  
Ca, Mg e Al trocáveis extraídos com KCl 1 mol L<sup>-1</sup>

Análise Granulométrica		
Argila (%): 51,00	Areia (%): 30,00	Silte (%): 19,00



#### Porcentagem dos valores em relação ao CTC

Valor do CTC = 5,95

K: 0,17 %  
Mg: 20,17 %  
Ca: 7,73 %  
H+Al: 71,93 %





	Ministério da Educação Universidade Tecnológica Federal do Paraná Unidade Sudoeste - Campus Pato Branco Coordenação de Agronomia	 Governo do Estado do Paraná Secretaria de Agricultura e Abastecimento Instituto Agrônomo do Paraná
---	---	--

### Laudo de Análise de Solo

Solicitante : Clarice F. de Lemos (Doutorado - COEDI)	Laudo : 4517	Amostra:955
Endereço: Bacia do Rio Pitangui	Data: 15/09/2008	
Propriedade: - Ponta Grossa - PR		
Talhão: 15 - P12	Profundidade: 0 a 20 cm	
Técnico: ...	Nº Inscrição Prop.: 0	

Alto															
Médio															
Baixo															
Resultados	18,76	0,85	0,01		1,78	32,92	1,87	9,11	4,70						
	MO gdm <sup>-3</sup>	P mgdm <sup>-3</sup>	K cmol <sub>c</sub> dm <sup>-3</sup>		Cu mgdm <sup>-3</sup>	Fe mgdm <sup>-3</sup>	Zn mgdm <sup>-3</sup>	Mn mgdm <sup>-3</sup>	pH CaCl <sub>2</sub>						

OBS: K(mgdm<sup>3</sup>): 3,91

Valores encontrados no Solo Kg ha <sup>-1</sup>	MO	P <sub>2</sub> O <sub>5</sub>	K <sub>2</sub> O		Cu	Fe	Zn	Mn	pH
	Kg ha <sup>-1</sup>				Kg ha <sup>-1</sup>				
	37.520,00	3,90	9,40		3,56	66,84	3,74	18,22	4,70

Alto															
Médio															
Baixo															
Resultados	6,10	0,07	4,61		0,63	1,13		1,77	27,74	3,80					
	Índice SMP	Al <sup>3+</sup> cmol <sub>c</sub> dm <sup>-3</sup>	H+Al cmol <sub>c</sub> dm <sup>-3</sup>		Ca cmol <sub>c</sub> dm <sup>-3</sup>	Mg cmol <sub>c</sub> dm <sup>-3</sup>		SB cmol <sub>c</sub> dm <sup>-3</sup>	V (%)	Sat. Al (%)					

Metodologias: M.O. por digestão úmida; P,K,Cu,Fe,Zn e Mn extraídos com solução de Mehlich - I; pH em Ca.Cl<sub>2</sub> 1:2,5  
Ca, Mg e Al trocáveis extraídos com KCl 1 mol L<sup>-1</sup>

Análise Granulométrica		
Argila (%): 57,40	Areia (%): 19,80	Silte (%): 22,80

#### Porcentagem dos valores em relação ao CTC

Valor do CTC = 6,38

K: 0,16 %

Mg: 17,71 %

Ca: 9,87 %

H+Al: 72,26 %

